



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MODELO DE CONTROLE PARA OBRAS DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

ANDRÉ DELGADO DE SOUZA

Recife
2016

ANDRÉ DELGADO DE SOUZA

**MODELO DE CONTROLE PARA OBRAS DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Recife
2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S729m Souza, André Delgado de.

Modelo de controle para obras de esgotamento sanitário utilizando sistema de informações geográficas / André Delgado de Souza. – Recife, 2016.

273folhas, il., figs., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Lúcia Bezerra Candeias.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Saneamento básico. 3. Geoprocessamento. 4. Geotecnologias. 5. Auditoria. 6. Tribunal de Contas. I. Sobral, Maria do

MODELO DE CONTROLE PARA OBRAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

ANDRÉ DELGADO DE SOUZA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, na área de concentração de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, e considerada aprovada pela banca examinadora, em 1/7/2016, constituída pelos doutores:

Profª. Maria do Carmo Martins Sobral (Orientadora, Ph.D.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Profª. Ana Lúcia Bezerra Candeias (Co-orientadora, D. Sc.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Alfredo Ribeiro Neto (Examinador interno, D. Sc.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. João Rodrigues Tavares Júnior (Examinador externo, D. Sc.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Sandro Valença da Silva (Examinador externo, D. Sc.)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Adriano Rolim da Paz (Examinador externo, D. Sc.)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Recife, PE
Maio de 2016

Ninguém suporta injustiça sem reclamar e ninguém comete erro sem Padre-Nosso de penitência. Queira porque não queira, tem de se sofrer, ao menos um remorsozinho, tiquinho de pena, pedacinho de vontade no desejo de renegar.

José Nivaldo (1995, p. 31)

À minha esposa, Juliana,
e aos meus dois filhos queridos, Pedro e Francisco,
pelos momentos que passamos juntos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às minhas avós Neise, Luíza e Sílvia, todas *in memoriam*, pelo exemplo de vida que cada uma foi, na saúde e na doença;

Ao meu pai Ricardo, pela parceria;

À minha mãe Ladjane, por mostrar que devemos ser guiados pelo coração;

A tio Sérgio, pelo apoio prestado, sempre com muito carinho;

À minha esposa Juliana, pelos nossos dois filhos;

Ao meu filho mais velho Pedrinho, pelos abraços que me dá sempre quando chego em casa, além de tudo mais que ele tem me ensinado quando sentamos juntos para leitura dos seus livros;

Ao meu caçula Kiko, por me lembrar que a felicidade está nas coisas mais simples, a exemplo da sua satisfação durante o banho de sol;

Aos meus sogros, Seu Nestor e Dona Rosele, pelo constante apoio;

À Profa. Maria do Carmo Sobral, pela orientação desde os tempos de iniciação científica e pela confiança depositada no meu trabalho, sem o seu apoio eu não teria realizado este sonho;

À Profa. Ana Lúcia Candeias, pelas recomendações sempre precisas como co-orientadora;

Ao Prof. Volkmar Hartje, pela valiosa contribuição prestada na Universidade Técnica de Berlim;

Aos professores que participaram da minha banca de qualificação, pelas críticas construtivas;

Aos professores do curso de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, pelos ensinamentos que tanto contribuem para minha formação profissional;

À Secretária da Pós-Graduação Andréa Negromonte, pela disponibilidade e eficiência;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudos concedida na modalidade Doutorado Sanduíche do Programa Ciência sem Fronteiras;

Ao Tribunal de Contas da União, em especial ao Exmo. Ministro-Presidente Augusto Nardes, ao Sr. Secretário-Geral de Controle Externo Maurício Wanderley, ao Sr. Secretário-Geral da Presidência Alden Manguiera, ao Sr. Secretário-Geral de Administração Eduardo Rezende, ao Sr. Secretário de Planejamento Mauro Barbosa, ao Sr. Diretor-Geral do Instituto Serzedelo Corrêa Adriano Amorim e ao Sr. Secretário de Controle Externo na Paraíba Rainério Leite, por terem apostado, à época, na proposta deste trabalho;

Aos colegas do Tribunal de Contas da União, em especial aos Srs. João Germano Rocha, Aderaldo Tiburtino e Jorge Fonseca, pelas discussões técnico-científicas, e aos Srs. Juliana Souza, Thaisa Almeida, Henrique Carvalho, Evaldo Araújo, Francisca Aires e Tibério Loureiro, pelas inúmeras contribuições técnicas. Sem a ajuda desses colegas, este trabalho não seria possível.

RESUMO

O Brasil precisa melhorar sua infraestrutura de saneamento básico em geral, e de esgotamento sanitário em particular, para diminuir a degradação ambiental e promover o desenvolvimento sustentável. Há significativo déficit de coleta e tratamento de esgoto no país, mas o Governo Federal prevê vultosos investimentos no setor para o período entre 2014 a 2033, buscando reduzi-lo substancialmente. A redução do déficit pretendida não necessariamente será alcançada, entre outros, por conta do histórico de má gestão de obras públicas no país. Para melhorar a gestão, propõe-se um novo modelo de controle para obras de esgotamento sanitário. Em revisão da literatura, identificaram-se várias aplicações das geotecnologias como suporte à gestão ambiental e de recursos hídricos, mas carência quanto ao controle de obras. Observou-se também a existência de vários sistemas de informações referentes ao esgotamento sanitário. Esta tese objetivou o desenvolvimento de um modelo para controle a distância de obras de esgotamento sanitário valendo-se de bancos de dados existentes e com aplicação de sistema de informações geográficas (SIG), utilizando como estudo o controle exercido pelo Tribunal de Contas da União. Realizaram-se revisão de literatura, entrevistas com dez especialistas, cinco reuniões técnicas com gestores públicos, três *workshops*, 14 inspeções *in loco* e pesquisa experimental. A sistemática de controle de obras utilizada pelos Tribunais de Contas foi avaliada, tendo sido identificadas oportunidades para aprimorá-la. Foram analisadas fontes de informações disponíveis e estabelecidos critérios para sua utilização, construído um SIG para controle de obras de esgoto e gerados mapas temáticos para auxílio no processo de tomada de decisão. O modelo desenvolvido possibilitou controlar a distância um elevado número de obras de esgotamento sanitário. Realizou-se aplicação experimental em 399 municípios, que correspondem a 22% da quantidade total de municípios do Nordeste e 7% do Brasil, com população de 12,4 milhões de habitantes. Os resultados mostraram-se satisfatórios, na medida em que o modelo possibilitou analisar 142 convênios federais para obras de esgoto, permitindo avaliar a situação quanto ao cronograma de execução, licenciamento ambiental, adequação da execução dos convênios e risco de poluição dos recursos hídricos. Foi constatado que: em 55% dos casos, as obras estavam paralisadas, em ritmo lento ou não iniciadas com atraso superior a dois anos; em 39%, os objetos não estavam concluídos e as vigências dos convênios estavam expiradas; em 30%, as licenças ambientais estavam vencidas; em 13%, as empresas contratadas para execução das obras tinham capacidade operacional incompatível com a execução das mesmas; em 9%, foram identificadas movimentações atípicas nas contas bancárias; e foi identificado risco de poluição dos recursos hídricos em decorrência de despejos de esgoto não tratado. Esta pesquisa representa um avanço quanto à gestão de obras de esgotamento sanitário, pois o modelo de controle desenvolvido permite a obtenção de visão sistêmica da situação das obras e uma atuação mais seletiva para solucionar problemas existentes, contribuindo para obras executadas e concluídas com melhor retorno ecológico, social e econômico.

Palavras-chave: Saneamento básico. Geoprocessamento. Geotecnologias. Auditoria. Tribunal de Contas.

ABSTRACT

Brazil needs to improve its basic sanitation infrastructure in general, and sewage in particular, in order to reduce environmental degradation and promote sustainable development. There is significant deficit of collection and treatment of sewage in the country, but the Brazilian Government predicts large investments in the sector for the period of 2014-2033. However, even with the predicted investments, the deficit reduction may not be achieved due, among other issues, to the historical problem related to poor management of public works in the country. To improve the management of public works, a new control model for sewage works is proposed. Through literature review, several applications of geotechnology were identified to support environmental and water resources management, but fewer for controlling of public works. The existence of several information systems related to sewage was also noted. The main objective of this research was to develop a model for remote monitoring of public sewage infrastructure construction projects, using existing databases and a geographic information system (GIS), through a study conducted in the Brazilian Court of Audit. To develop the model, there was literature review, interviews with ten experts, five technical meetings, three workshops, 14 on-site inspections and experimental research. The control of public works carried out by the Brazilian Audit Courts were evaluated, and opportunities to improve it were identified. Available sources of information were analysed and some criteria for their use were suggested, a GIS for controlling sewage works was set up and some thematic maps were built to assist the decision-making process. The developed model made it possible to remotely monitor a large number of sewage works. It was experimentally applied in 399 municipalities, corresponding to 22% of the total number of municipalities in the Northeast and 7% of Brazil, with a total population of 12.4 million inhabitants. The results were satisfactory, as it was possible to analyse 142 sewage construction projects, including their construction schedules, environmental licensing, adequacy of contracts and risk of water resource pollution. The main findings were: 55% of the sewage constructions were halted, in very slow construction rhythm, or were not even initiated, even though they were more than two years behind schedule; 39% of the constructions were not concluded, but the contracts were already expired; 30% of environmental licenses were expired; 13% of the hired construction companies did not have operational capability to execute the public works; 9% of the contracts had atypical financial transactions in their respective bank accounts; and there was risk of water pollution by potential raw sewage discharges. This research presents an advance on the management of sewage works. The developed control model allows a systemic view of the projects' situation, and it makes possible a more selective approach to solve problems as they arise, contributing to the timely conclusion of each sewage works project and its ecological, social and economic benefits.

Keywords: Basic sanitation. Geoprocessing. Geotechnology. Audit. Supreme audit institution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Índice de perdas na distribuição de água, por região geográfica em 2012.....	40
Figura 2	Índice de Desenvolvimento do Saneamento em 2011.....	41
Figura 3	Desenho esquemático das camadas de informação de um SIG de cadastro urbano.....	46
Figura 4	Arquitetura de sistema de informações geográficas.....	46
Figura 5	Níveis de abstração de aplicações geográficas.....	50
Figura 6	Desenho esquemático do <i>geodatabase</i>	50
Figura 7	Áreas beneficiadas com o GEOSS.....	52
Figura 8	Redesenho do mapa de parte de Londres feito pelo Dr. John Snow em 1854, com localização de poços de água (em azul) e de mortes por cólera (em vermelho).....	54
Figura 9	Distribuição espacial dos filmes mais assistidos na <i>Netflix</i> em Nova Iorque.....	55
Figura 10	Distribuição espacial das famílias com registro de doenças cardiovasculares.....	56
Figura 11	Comparação de superfícies de densidades de kernel para dois raios distintos.....	57
Figura 12	Fontes de incertezas nos modelos matemáticos.....	60
Figura 13	Visualização 3D com curvas de nível com equidistância de 10m.....	61
Figura 14	Indicação de áreas para disposição de novos reservatórios de água.....	63
Figura 15	Arquitetura de um sistema espacial de suporte à tomada de decisão colaborativo.....	65
Figura 16	Arquitetura do Sistema GeoPAC.....	67
Figura 17	Exemplos de imagens de satélite do Sistema GeoPAC.....	68
Figura 18	Modelo tridimensional do aterro com base nas medições.....	69
Figura 19	Comparação da imagem de satélite do local com as medições.....	69
Figura 20	Relação entre governança e gestão.....	73
Figura 21	Um sistema de <i>feedback</i>	73
Figura 22	Evolução do enfoque das auditorias.....	80
Figura 23	Fases do processo de auditoria.....	82
Figura 24	Evolução no modo de realização das auditorias.....	103
Figura 25	Evolução da abordagem nas auditorias.....	104
Figura 26	Bacia hidrográfica do rio São Francisco.....	106
Figura 27	Eixos do Projeto de Integração do rio São Francisco.....	108
Figura 28	Municípios da área de estudo.....	110
Figura 29	Situação do esgotamento sanitário nos municípios da área de estudo.....	110
Figura 30	Etapas da pesquisa.....	112
Figura 31	Exemplos de distribuição espacial dispersa e aglomerada.....	126
Figura 32	Valores de referência para <i>p-value</i> e <i>z-score</i>	128

LISTA DE FIGURAS

(continuação)

Figura 33	Função Densidade Qui-Quadrado	130
Figura 34	Esquema genérico do Modelo CDOP.....	133
Figura 35	Diagrama simplificado para Controle a Distância de Obras Públicas proposto neste trabalho	135
Figura 36	Simplificação das entradas e saídas do modelo.....	140
Figura 37	Interface do SIG e seus planos de informação	142
Figura 38	Convênios existentes na área de estudo.....	144
Figura 39	Testes para escolha entre interpoladores de densidade simples ou de kernel	145
Figura 40	Testes para escolha do tipo de classificação dos dados.....	147
Figura 41	Testes para escolha da quantidade de classes.....	148
Figura 42	Mapa da distribuição da quantidade de convênios na área de estudo	149
Figura 43	Mapa da distribuição do valor (R\$) dos convênios na área de estudo	149
Figura 44	Situação do cronograma de execução das obras.....	153
Figura 45	Obras com problemas no cronograma em cada estado.....	153
Figura 46	Mapa das obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas com atraso superior a dois anos	154
Figura 47	Detalhamento da situação do cronograma de execução das obras	154
Figura 48	Mapa da comparação da quantidade de convênios em cada município com as obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas.....	156
Figura 49	Convênios não concluídos com vigência vencida	160
Figura 50	Convênios vencidos em cada estado	160
Figura 51	Mapa dos convênios vencidos	161
Figura 52	Situação das obras referentes aos convênios com vigência vencida	161
Figura 53	Mapa da comparação dos convênios vencidos com as obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas	162
Figura 54	Obras em execução ou paralisadas com licença ambiental vencida.....	164
Figura 55	Convênios com licenças de instalação vencidas em cada estado	164
Figura 56	Mapa dos convênios com licença de instalação vencida.....	165
Figura 57	Obras cujas empresas contratadas têm capacidade operacional incompatível.....	168
Figura 58	Convênios com empresas incompatíveis em cada estado	168
Figura 59	Mapa dos convênios cujas empresas tinham capacidade operacional incompatível com a execução das obras	169

LISTA DE FIGURAS

(continuação)

Figura 60	Mapa da comparação dos convênios com construtoras incompatíveis e as obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas.....	170
Figura 61	Convênios com movimentações financeiras atípicas nas contas bancárias.....	172
Figura 62	Convênios com movimentações financeiras atípicas em cada estado.....	172
Figura 63	Mapa dos convênios com movimentações financeiras atípicas.....	173
Figura 64	Mapa da comparação dos convênios com movimentações atípicas nas contas bancárias e obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas	174
Figura 65	Situação da coleta e tratamento de esgoto nos municípios da AID.....	177
Figura 66	Mapa da população sem coleta e tratamento de esgoto nos municípios da AID.....	178
Figura 67	Carta imagem de Açu-RN e do rio Piranhas-Açu (em 6/5/2015).....	179
Figura 68	Detalhamento da situação dos municípios da AID quanto ao risco de poluição das águas.....	179
Figura 69	Mapa dos municípios com maior risco de poluição das águas por despejos de esgoto .	180
Figura 70	Situação dos municípios da AID com relação ao risco de poluição das águas	181
Figura 71	Carta imagem de São Bento-PB e do rio Piranhas-Açu (em 11/4/2012)	182
Figura 72	Sedes municipais com distância inferior a 5 km dos rios receptores na AID	182
Figura 73	Carta imagem de Pombal-PB e dos rios Piancó e Piranhas-Açu (em 11/4/2012).....	183
Figura 74	Carta imagem de Aurora-CE e do rio Piranhas-Açu (em 16/11/2012)	184
Figura 75	Situação dos cronogramas em relação à vigência dos convênios.....	185
Figura 76	Situação dos cronogramas em relação ao licenciamento ambiental.....	186
Figura 77	Situação dos cronogramas em relação à capacidade operacional das construtoras.....	187
Figura 78	Situação dos cronogramas em relação às movimentações financeiras.....	188
Figura 79	Situação dos cronogramas em relação aos outros parâmetros avaliados.....	189
Figura 80	Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Cajazeiras-PB	191
Figura 81	Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Pombal-PB.....	191
Figura 82	Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Bonito de Santa Fé-PB	192
Figura 83	Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Mogeiro-PB	192
Figura 84	Foto ilustrando esgoto a céu aberto em Mogeiro-PB	193
Figura 85	Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Jurucutu-RN	194
Figura 86	Foto da placa da obra de esgotamento sanitário em Icó-CE.....	195
Figura 87	Foto referente às obras da estação elevatória em Icó-CE.....	195
Figura 88	Foto referente às obras da ETE em Icó-CE	196

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Níveis de atendimento com rede de água e com coleta e tratamento de esgoto	39
Tabela 2	Necessidade de investimentos em abastecimento de água e SES	42
Tabela 3	Utilização de SIG no controle externo de obras públicas no Brasil.....	96
Tabela 4	Municípios da área de estudo	109
Tabela 5	Situação da coleta e tratamento de esgoto nos municípios da AID	111
Tabela 6	Resumo dos convênios analisados	111
Tabela 7	Municípios com três ou mais convênios	157
Tabela 8	Valores observados quanto aos cronogramas em relação às vigências dos convênios	185
Tabela 9	Valores esperados quanto aos cronogramas em relação às vigências dos convênios ...	185
Tabela 10	Valores observados dos cronogramas em relação às vigências das licenças ambientais	186
Tabela 11	Valores esperados dos cronogramas em relação às vigências das licenças ambientais	186
Tabela 12	Valores observados quanto aos cronogramas em relação às construtoras	187
Tabela 13	Valores esperados quanto aos cronogramas em relação às construtoras	187
Tabela 14	Valores observados quanto aos cronogramas em relação às movimentações financeiras	188
Tabela 15	Valores esperados quanto aos cronogramas em relação às movimentações financeiras	189

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Impactos ambientais negativos decorrentes de SES	31
Quadro 2	Aplicações de SIG na gestão pública.....	47
Quadro 3	Formato-padrão da matriz de planejamento.....	84
Quadro 4	Objetivos das auditorias ambientais.....	86
Quadro 5	Principais irregularidades em obras públicas de esgotamento sanitário	102
Quadro 6	Fontes de informações sobre a área de estudo	116
Quadro 7	Fontes de informações sobre os convênios federais	117
Quadro 8	Outras fontes de informações.....	120
Quadro 9	Fontes de informações referentes aos dados espaciais.....	122
Quadro 10	Principais planos de informação do SIG.....	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESB	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
AID	Área de influência direta
ANA	Agência Nacional de Águas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BB	Banco do Brasil
BDG	Banco de dados geográficos
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CAIXA	Caixa Econômica Federal
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CDOP	Controle a Distância de Obras Públicas
CGU	Controladoria-Geral da União
CNI	Confederação Nacional das Indústrias
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CREA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
d	Índice do vizinho mais próximo como diferença
d_e	Distância média esperada
DGI	Diretoria de Gestão da Informação
d_o	Distância média observada
EIA	Estudo de impacto ambiental
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FOC	Fiscalização de Orientação Centralizada
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GAO	Controladoria Geral dos Estados Unidos
GEOSNIC	Sistema Geográfico Nacional de Informações de Cidades
GEOSS	<i>Global Earth Observation System of Systems</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(continuação)

IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INTOSAI	International Organisation of Supreme Audit Institutions
INDA	Infraestrutura Nacional de Dados Abertos
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INNOVATE	<i>Interplay Among Multiple Uses of Water Reservoirs via Innovative Coupling of Substance Cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSS	Instituto Nacional do Seguro Social
ISSAI	<i>International Standards of Supreme Audit Institutions</i>
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias
MCIDADES	Ministério das Cidades
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MI	Ministério da Integração Nacional
MPOG	Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão
OGU	Orçamento Geral da União
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfico
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
<i>r</i>	Índice do vizinho mais próximo como razão;
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RPG	Repasse de Recursos de Projetos do Governo
SECEX	Secretaria de Controle Externo
SES	Sistema de esgotamento sanitário

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(continuação)

SIAFI	Sistema de Administração Financeira do Governo Federal
SICONV	Sistema de Convênios
SIG	Sistema de informações geográficas
SIGESAN	Sistema Gerencial de Acompanhamento de Projetos de Saneamento
SIGOB	Sistema Integrado de Gerenciamento de Obras
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISMOC	Sistema Integrado de Monitoramento de Convênios
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SIURB	Sistema de Acompanhamento de Obras
SNIC	Sistema Nacional de Informações das Cidades
SNIS	Sistema Nacional de Informações para Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
STN	Secretaria do Tesouro Nacional
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente da Paraíba
TC	Tribunal de Contas
TCE	Tribunal de Contas do Estado
TCU	Tribunal de Contas da União
TRATA BRASIL	Instituto Trata Brasil
TU-Berlin	Universidade Técnica de Berlim
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VRF	Volume de recursos fiscalizados
χ^2	Medida de Qui-Quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Motivação e relevância do tema	24
1.2	Hipótese do trabalho	27
1.3	Objetivos	27
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	27
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	27
1.4	Estrutura da tese	27
2	REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1	Esgotamento sanitário como política pública nacional	29
2.1.1	<i>Impactos ambientais</i>	30
2.1.2	<i>Aspectos legais e institucionais</i>	32
2.1.3	<i>Déficit de atendimento</i>	39
2.1.4	<i>Previsão de investimentos</i>	41
2.2	Geotecnologias como ferramenta de gestão	44
2.2.1	<i>Sistema de informações geográficas</i>	45
2.2.2	<i>Banco de dados geográficos</i>	49
2.2.3	<i>Análises espaciais</i>	53
2.2.4	<i>Aplicações na gestão ambiental e de recursos hídricos</i>	60
2.2.5	<i>Aplicações na gestão de obras</i>	66
2.3	Modelagem como ferramenta para tomada de decisão e controle	71
2.3.1	<i>Modelos de gestão e governança</i>	71
2.3.2	<i>Construção de modelos</i>	75
2.4	Controle da administração pública brasileira	77
2.4.1	<i>Controle externo e os Tribunais de Contas</i>	77
2.4.2	<i>Auditorias governamentais</i>	79
2.4.3	<i>Tribunal de Contas da União no controle ambiental e na fiscalização de obras</i>	85
2.4.4	<i>Utilização das geotecnologias pelos Tribunais de Contas do Brasil</i>	93
2.4.5	<i>Importância do controle das obras de esgotamento sanitário</i>	101

3	MATERIAL E MÉTODOS	105
3.1	Área de estudo	105
3.1.1	<i>Bacia hidrográfica do rio São Francisco</i>	105
3.1.2	<i>Projeto de Integração do rio São Francisco</i>	107
3.1.3	<i>Municípios da área de estudo</i>	109
3.2	Metodologia	112
3.2.1	<i>Formulação teórica</i>	113
3.2.2	<i>Análise das fontes de informações</i>	114
3.2.3	<i>Coleta e tratamento dos dados</i>	123
3.2.4	<i>Estimação do modelo</i>	123
3.2.5	<i>Validação</i>	130
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	132
4.1	Controle a distância de obras públicas: nova abordagem proposta	132
4.1.1	<i>Apresentação conceitual do modelo</i>	132
4.1.2	<i>Descrição e diagramação</i>	134
4.2	Sistema de informações geográficas aplicado ao controle	139
4.2.1	<i>Planos de informação</i>	140
4.2.2	<i>Convênios federais para obras de esgotamento sanitário</i>	142
4.2.3	<i>Cronograma de execução das obras</i>	150
4.2.4	<i>Vigência dos convênios</i>	158
4.2.5	<i>Licenciamento ambiental</i>	163
4.2.6	<i>Capacidade operacional das empresas contratadas para execução das obras</i>	166
4.2.7	<i>Movimentações financeiras das contas bancárias dos convênios</i>	170
4.2.8	<i>Risco de poluição das águas do PISF pelo lançamento de esgoto</i>	174
4.2.9	<i>Associação entre variáveis</i>	184
4.3	Inspeções <i>in loco</i> e manifestação dos gestores públicos	190
4.3.1	<i>Inspeções <i>in loco</i></i>	190
4.3.2	<i>Manifestação dos gestores públicos</i>	196
4.4	Benefícios e limitações	198
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	201
5.1	Conclusões	201
5.2	Recomendações	203

REFERÊNCIAS.....	205
APÊNDICES	226
APÊNDICE A - UTILIZAÇÃO DE SIG PELOS TRIBUNAIS DE CONTAS DO BRASIL.....	226
APÊNDICE B - IRREGULARIDADES EM OBRAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	233
APÊNDICE C - MUNICÍPIOS DA ÁREA DE ESTUDO	237
APÊNDICE D - CONVÊNIOS PARA OBRAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA ÁREA DE ESTUDO	252
APÊNDICE E - EXTRATOS DAS REUNIÕES	260
APÊNDICE F - MATRIZ DE PLANEJAMENTO	268
APÊNDICE G - <i>CHECKLIST</i> UTILIZADO NAS INSPEÇÕES <i>IN LOCO</i>.....	271

1 INTRODUÇÃO

O Brasil precisa melhorar a infraestrutura de saneamento básico para diminuir a degradação ambiental e promover o desenvolvimento sustentável. O saneamento tem papel central para saúde pública e relação direta com a qualidade de vida, sendo um dos componentes de infraestrutura mais importantes para preservação do meio ambiente (Ministério das Cidades - MCIDADES, 2013, p. 16 e 28; EL-FADEL *et al.*, 2014; GALVÃO JÚNIOR; SILVA, 2013, p. 647 e 648; REIS; CUNHA, 2006, p. 5).

Quanto ao esgotamento sanitário em particular, vários estudos apontam-no como principal fonte de poluição das bacias hidrográficas e demonstram a relação entre a prestação adequada do serviço e melhorias na saúde pública, em especial doenças gastrointestinais e mortalidade infantil (Agência Nacional de Águas - ANA, 2010, p. 14, 59, 60 e 68; BARROS; SOBRAL; GUNKEL, 2013; TEIXEIRA; GOMES; SOUZA, 2011, p. 203; TEIXEIRA *et al.*, 2014, p. 90). Há também efeitos positivos na educação da população, produtividade dos trabalhadores e valorização ambiental da área (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS; Instituto Trata Brasil - TRATA BRASIL, 2014, p. 23, 31 e 35; SCRIPTORE; AZZONI; MENEZES FILHO, 2015).

Apenas 38,7% do esgoto gerado no país é tratado, sendo essa situação agravada nas regiões Norte e Nordeste, com índices de 14,4 e 31,0% respectivamente (MCIDADES, 2014a, p. 15). Para atingir 90% da população com serviço adequado, são previstos investimentos de R\$ 180 bilhões, entre 2014 a 2033, incluindo expansão e reposição. Estima-se que 78% desse valor seja proveniente de recursos federais ou por agentes financeiros do Governo Federal (MCIDADES, 2013, p. 121, 131 e 132).

Os vultosos investimentos estimados não significam, necessariamente, que os resultados pretendidos serão de fato alcançados. Dentre as políticas sociais, a de saneamento foi uma das que apresentou pior desempenho nas últimas duas décadas, quando comparados os investimentos previstos e os resultados obtidos. Entre os principais obstáculos, têm-se déficit tecnológico e má gestão das empresas de saneamento (SCARATTI; MICHELON; SCARATTI, 2013; SOUSA, 2011, p. 2–4, 80 e 81). Adicionam-se as dificuldades de planejamento do setor, sobretudo nos municípios de pequeno porte (LISBOA; HELLER; SILVEIRA, 2013).

Há também o histórico de má gestão das obras públicas no país (RIBEIRO, 2012; Tribunal de Contas da União - TCU, 2014a). Em 1995, o Relatório Final da Comissão Temporária do Senado Federal apontou a existência de 2.214 obras inacabadas, com gastos estimados em mais de R\$ 15 bilhões à

época (SENADO FEDERAL, 1995, p. 7). Esse montante equivale a R\$ 75 bilhões, na data-base de dezembro de 2015, em valores corrigidos pelo Índice Nacional de Custo da Construção.

Para aprimorar a gestão das obras de esgotamento sanitário, buscando alcançar seus benefícios ecológicos, sociais e econômicos, ganha importância a realização de um controle mais eficiente e efetivo. Considerando as dimensões do país e a quantidade de obras envolvidas, devem-se buscar modelos alternativos de controle. Aponta-se como alternativa a realização de controle a distância das obras, possibilitando obter visão sistêmica do andamento e propiciar uma atuação mais seletiva para correção de problemas. A coleta, tratamento, integração e análise de dados já existentes pode possibilitar a obtenção de informações relevantes sobre várias obras, permitindo também identificar casos mais críticos, para atuação mais específica dos responsáveis.

Propõe-se utilizar bancos de dados já existentes e realizar análises com apoio de sistema de informações geográficas (SIG) nas obras de esgotamento sanitário. Existe uma tendência cada vez maior de transparência no Brasil, resultando na maior disponibilidade de dados governamentais (FREITAS; DACORSO, 2014; TCU, 2014b). Aponta-se, como exemplo, a criação do Portal da Transparência, a promulgação da Lei n. 12.527/2011 (BRASIL, 2011), conhecida como Lei de Acesso a Informação, e a criação da Infraestrutura Nacional de Dados Abertos (INDA) e da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Em um contexto mais amplo, acrescentam-se também os desafios científicos relacionados a *Big Data*¹ (BEDIROGLU; VOLKAN; NISANCI, 2015; LEE; KANG, 2015; NATIVI *et al.*, 2015).

Os SIG são ferramentas computacionais que permitem coletar, armazenar, manipular e visualizar dados georreferenciados. São várias aplicações na gestão ambiental e de recursos hídricos, a exemplo de monitoramento de áreas degradadas (BEUCHLE *et al.*, 2011; RAŠI *et al.*, 2011; SUAREZ; CANDEIAS, 2014), gestão de reservatórios, bacias hidrográficas, saneamento básico e planejamento urbano (BARROS; SOBRAL; GUNKEL, 2013; BENEDINI, 2011; CORDÃO; RUFINO; ARAÚJO, 2013; DELIPETREV; JONOSKI; SOLOMATINE, 2014; FAN; COLLISCHONN; RIGO, 2013; FU; AOUAD, 2009; HORITA *et al.*, 2015; KESER; DUZGUN; AKSOY, 2012; LOPES *et al.*, 2015; PAES; CANDEIAS; SOBRAL, 2010; RIBEIRO NETO *et al.*, 2015).

Aplicações no âmbito do controle de obras são mais escassas na literatura, com destaque para aplicações como banco de dados geográfico (BELFORT, 2013; GEYMEN; YOMRALIOGLU; BAZ,

¹ O conceito de *Big Data* relaciona-se à imensa disponibilidade de dados existente no dia-dia (estruturados e não-estruturados). Tradicionalmente, pode ser entendido sob três eixos: volume, velocidade e variedade. O volume está relacionado à grande quantidade de dados. A velocidade relaciona-se aos muitos dados que são gerados a todo momento. A variedade relaciona-se ao abrangente leque de dados disponíveis. A depender do objetivo da análise, pode-se considerar outros eixos, como veracidade e visualização.

2008; GOMEL; REINALDIM, 2013), aferição de quantitativos de serviços (CAVALCANTI, 2013; FERRAZ *et al.*, 2015; KUROKAWA; HOLANDA JÚNIOR, 2010) e monitoramento por imagens de satélite (DALCIO *et al.*, 2013; HOLLER, 2011; MIRANDA, 2009), sendo essa última aplicação de forma mais experimental. Acrescentam-se também pesquisas para integrar diferentes fontes de informações ou realizar análises espaciais mais complexas (BEDIROGLU; VOLKAN; NISANCI, 2015; KIM; MARSHALL; PAL, 2014).

Vários dados sobre a situação do esgotamento sanitário nos municípios brasileiros podem ser obtidos em fontes de informações dispersas, assim como sobre os investimentos previstos e obras em andamento para implantação ou ampliação das redes e estações de tratamento de esgoto (MONTENEGRO; CAMPOS, 2014). Citam-se, como exemplos: Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) e Sistema Geográfico Nacional de Informações de Cidades (GEOSNIC) - mantidos pelo Ministério das Cidades; Sistema de Convênios (SICONV) - do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG); e Sistema Integrado de Monitoramento de Convênios (SISMOC) - da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA).

Nesta pesquisa propõe-se um modelo de controle a distância de obras de esgotamento sanitário com a integração e espacialização de bases de dados disponíveis, propiciando o acompanhamento de várias obras e permitindo uma atuação mais sistêmica e seletiva. O modelo de controle inclui a definição de um fluxograma de atividades, contemplando análise e integração de diversas bases de dados, construção de um SIG, elaboração de mapas temáticos e aplicação de estatística espacial. A partir do cruzamento de dados, espacialização e análise das informações obtidas, pode-se também identificar quais obras têm maiores riscos da ocorrência de não-conformidades. Existem várias iniciativas para utilização intensiva de bases de dados para realização de auditorias (CHAN; VASARHELYI, 2011; COSTA, 2012; JANS; ALLES; VASARHELYI, 2013; MOTTA JÚNIOR, 2010), mas o mesmo não se observa quando se trata da integração de dados com aplicação de SIG para controle de obras.

Como estudo, utilizam-se as obras de esgotamento sanitário de uma área composta por 399 municípios, sendo 116 em Pernambuco, 130 na Paraíba, 94 no Rio Grande do Norte e 59 no Ceará, relacionadas ao Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF). O PISF é um empreendimento do Governo Federal, sob a coordenação do Ministério da Integração Nacional (MI). Seu objetivo é assegurar a oferta de água para 12 milhões de habitantes do Nordeste Brasileiro, com a construção de dois canais que levarão água do rio para os quatro estados mencionados. Para maximizar os efeitos positivos do projeto, tem-se a implantação de sistemas de esgotamento sanitário (SES) nos municípios que serão beneficiados pelo PISF, em

especial nos municípios da Área de Influência Direta (AID), tendo em vista que despejos de esgotos sanitários nos corpos d'água podem comprometer a qualidade dos recursos hídricos.

Lee *et al.* (2014) debruçaram-se sobre os desafios relacionados à gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio São Francisco e do PISF. Entre os resultados encontrados, menciona-se o complicado arranjo institucional existente, considerando as diferentes, e algumas vezes concorrentes, competências locais e federais. Os autores destacaram que, historicamente, as instituições carecem de mecanismos para alocação de recursos hídricos durante os períodos de seca, além de falta de colaboração entre as instituições. Entende-se que os autores têm razão quando afirmam que falhas dessa natureza ocorreram com relação ao PISF. O governo primeiro investiu em infraestrutura, para só depois se preocupar com os mecanismos necessários para gestão das obras e do empreendimento propriamente (TCU, 2006, 2012a, 2013a).

O modelo de controle desenvolvido foi aplicado no âmbito do TCU, em auditoria nas obras de esgotamento sanitário na área de estudo. Os Tribunais de Contas são órgãos da estrutura de controle da administração pública, responsáveis por fiscalizar a gestão e aplicação de recursos públicos.

O controle a distância de obras de esgotamento sanitário mostra-se como uma ferramenta potencial para identificação de gargalos para conclusão das obras e de riscos ambientais, tal como poluição dos recursos hídricos por despejos de efluentes não tratados em rios e reservatórios. Espera-se contribuir para uma atuação mais seletiva dos responsáveis pela gestão das obras.

No presente capítulo são apresentados a motivação e relevância do tema, a hipótese da pesquisa, os objetivos e a estrutura do trabalho.

1.1 Motivação e relevância do tema

Observa-se potencial e carência referente a pesquisas relacionadas à utilização de bancos de dados e SIG no controle de obras de esgotamento sanitário, especialmente diante da possibilidade de realizar acompanhamento virtual de elevado número de empreendimentos.

Diante desse cenário, a seguinte pergunta condutora foi elaborada: como aprimorar a gestão e controle de obras de esgotamento sanitário utilizando os bancos de dados disponíveis e as geotecnologias?

Estudos nessa direção são importantes para promoção do desenvolvimento sustentável da região, considerando que a implantação de SES deve ser tratada de forma prioritária para a gestão de recursos hídricos (SOBRAL, 2011, p. 80; TUNDISI, 2010, p. 81–94), como também para cidades sustentáveis (TURKIENICZ, 2012, p. 58–66 e 158–160) e para a saúde da população (LISBOA; HELLER;

SILVEIRA, 2013, p. 346 e 347). A proteção ambiental e utilização sustentável da água na região semiárida são um dos focos da política ambiental no país (GUNKEL *et al.*, 2015). Estudos têm sido realizados para estabelecer programas de monitoramento, porém, ainda há falta de dados regulares de monitoramento e carência de métodos para análise (BARROS; SOBRAL; GUNKEL, 2013, p. 362).

Pesquisas com a abordagem proposta estão alinhadas aos desafios da Pós-Graduação no país quanto à gestão ambiental e de recursos hídricos, pois se busca aprimorar modelos de gestão, usar bancos de dados e incorporar visão interdisciplinar e sistêmica nas análises, articulando aspectos ecológicos, sociais e econômicos, além de incrementar a capacidade preditiva quando incorporadas análises de correlação estatística (TUNDISI, 2010, p. 81–94; TURKIENICZ, 2012, p. 58–66 e 158–160).

Para justificar os desafios quanto ao tema água, Tundisi (2010, p. 81-94) destacou o significativo déficit de tratamento de esgoto, estresse hídrico em bacias hidrográficas, carência de visão sistêmica, interdisciplinar e preditiva. O autor acrescentou ainda que a sustentabilidade dos recursos hídricos estará garantida caso sejam seguidos os princípios de boa governança - eficácia², eficiência³, efetividade⁴, coerência, transparência, capacidade de controle e participação pública.

Acrescenta-se que o lançamento dos efluentes *in natura* em corpos d'água é um dos maiores fatores de degradação da qualidade da água no Brasil (ANA, 2010, p. 14 e 58–60). Destaca-se também que as ações de abastecimento de água e de esgotamento sanitário devem ser integradas.

Quanto à área de estudo em particular⁵, a importância dos SES nos municípios das bacias receptoras do PISF é mencionada em diversos pontos das análises ambientais efetuadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Os efluentes não tratados foram apontados pela autarquia como fator de risco aos benefícios potenciais esperados:

- IBAMA (2005, p. 18):

Em síntese, dentre os fatores que afetam a qualidade das águas, tanto na bacia do São Francisco, como nas bacias receptoras, o descarte de esgotos sanitários sem tratamento prévio e o carreamento de substâncias utilizadas na agricultura pela água de irrigação são os mais significativos.

² Cumprir as ações priorizadas.

³ Realizar as ações da melhor forma possível, em termos de custo-benefício.

⁴ Produzir os efeitos pretendidos.

⁵ A lista dos municípios consta no “Apêndice C - Municípios da área de estudo”.

- IBAMA (2007, p. 77 e 78):

As ações contempladas são: identificação das áreas prioritárias e dos municípios para a implantação do Programa; elaboração dos projetos básicos de saneamento; apoio a implantação de sistemas de coleta e tratamento primário de esgotos; implantação de fossas sépticas nas cidades de pequeno porte; elaboração dos projetos básicos de destinação e tratamento de resíduos sólidos; apoio a implantação de sistemas de tratamento de resíduos sólidos; e educação em saúde.

O atendimento integral das premissas estabelecidas por este programa, por parte do empreendedor e demais entes envolvidos, associada às medidas estabelecidas pelos programas afetos a qualidade da água e irrigação, é suficiente para garantir que não haverá piora da qualidade dos corpos d'água, na área de influência direta, em decorrência da implantação e operação do empreendimento.

Salienta-se que, com a maior oferta de água, aumentará o volume de efluentes, aumentando a relevância de se implantar, de forma integrada, a rede de abastecimento público de água e a coleta e tratamento do esgoto ao longo da implantação do PISF. Há também o efeito indesejado das pessoas residentes nas proximidades que poderão observar a água sendo transposta, mas continuam sem acesso à água potável e coleta de esgoto. Consequências como essa foram efetivamente observadas no caso de energia elétrica, com as dificuldades em se atender comunidades isoladas, que, embora vivessem sob as linhas de alta tensão, permaneceram, por anos, sem abastecimento de energia (GARCIA; LIMONAD, 2008, p. 3, 7 e 8; GARCIA, 2006, p. 9, 103 e 141).

Quanto às cidades sustentáveis, Turkienicz (2012, p. 58–66 e 158–160) apontou que as desvantagens sociais e ambientais decorrentes do desordenado incremento demográfico das áreas metropolitanas reduzem a capacidade competitiva dessas regiões no cenário econômico global. A produção nas metrópoles brasileiras tende a ser mais cara e danosa ao meio ambiente do que em outras metrópoles de países industrializados. Realçou também deficiências nas prefeituras para utilizar metodologias de análise ambiental com aplicação de geoprocessamento e modelos para avaliar o comportamento dos solos urbanos quanto ao impacto da chuva, tráfego, poluição sonora etc. Acrescentou ainda desafios relacionados a: consolidação de bancos de dados oficiais; promoção do acesso e garantia de qualidade e atualidade dos dados; construção de indicadores e monitoramento; gestão integrada de políticas públicas; estratégias para gestão de obras públicas; aplicação de modelos de planejamento; e tecnologias e métodos para aferição de custos, manutenção e ampliação de redes de infraestrutura.

Com a presente tese espera-se avançar no conhecimento relativo à gestão de obras de esgotamento sanitário por meio de aprimoramentos no processo de controle. Uma vez desenvolvido e aplicado o

modelo, de início, contribui-se para resolução de problemas do dia-a-dia, com aperfeiçoamentos na gestão dessas obras. Aprofunda-se o conhecimento sobre um tema que carece de estudos, indicando novas frentes para desenvolvimento da ciência, com testes em variados tipos de obras e utilização de outras fontes de informação e tecnologias auxiliares.

Como objeto de estudo, utilizam-se obras de esgotamento sanitário, incluindo redes de coleta, estações de tratamento e destinação final dos efluentes. Esse tipo de obra foi escolhido tendo em vista: importância estratégica para o desenvolvimento sustentável e para a Pós-Graduação no país; significativo déficit na infraestrutura brasileira; existência de várias bases de dados governamentais; e previsão de vultosos investimentos no setor.

1.2 Hipótese do trabalho

A utilização de bancos de dados e aplicação de sistema de informações geográficas aprimorarão o controle de obras de esgotamento sanitário.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um modelo de controle para acompanhamento a distância de obras de esgotamento sanitário, com aplicação de sistema de informações geográficas, utilizando como estudo o controle exercido pelo Tribunal de Contas da União em obras públicas.

1.3.2 Objetivos específicos

- avaliar a sistemática de controle de obras utilizada pelos Tribunais de Contas;
- propor nova abordagem para realização do controle de obras de esgotamento sanitário;
- definir critérios para seleção das fontes de informações disponíveis;
- estabelecer parâmetros para avaliação das obras; e
- validar o modelo desenvolvido com aplicação experimental e análise dos resultados.

1.4 Estrutura da tese

A tese é estruturada em seis capítulos, incluindo o presente, que contém a motivação e relevância do tema, a hipótese do trabalho e os objetivos da pesquisa.

O segundo capítulo contempla a fundamentação teórica dos temas estudados. Inicia-se com discussão sobre os benefícios ecológicos, sociais e econômicos da coleta e tratamento de esgoto, arranjo legal e institucional do setor e situação do esgotamento sanitário no Brasil. Na sequência, apresentam-se

aplicações das geotecnologias na gestão ambiental, de recursos hídricos e de obras e discorre-se sobre a modelagem como ferramenta para suporte à tomada de decisão e controle. Por fim, descreve-se a estrutura de controle da administração pública brasileira, com destaque para a atuação do TCU no controle ambiental e na fiscalização de obras.

O terceiro capítulo apresenta a caracterização da área de estudo, os critérios adotados para sua escolha e a metodologia, incluindo análise das fontes de informações utilizadas, descrevendo as etapas aplicadas para chegar ao modelo proposto.

O quarto capítulo contempla os resultados e discussão. Inicia-se com apresentação geral da nova abordagem proposta para controle a distância das obras de esgoto, com descrição e diagramação do modelo e a construção do SIG. Por fim, tem-se a aplicação experimental e validação do modelo com a análise dos resultados encontrados, além das inspeções *in loco* e manifestações de gestores públicos.

O quinto capítulo trata das conclusões e recomendações.

O sexto contempla as referências utilizadas na pesquisa. Além desses capítulos constam sete apêndices, tratando do levantamento sobre a utilização de SIG pelos Tribunais de Contas do Brasil, principais irregularidades em obras de esgoto, relação de municípios e de convênios existentes na área de estudo, extratos de reuniões, matriz de planejamento e *checklist* utilizado nas inspeções.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo inicia-se com apresentação da importância do esgotamento sanitário como política pública para promoção do desenvolvimento sustentável no país. Na sequência, discutem-se aplicações das geotecnologias, e dos SIG em especial, como suporte à gestão ambiental, de recursos hídricos e de obras. Seguidamente, discorre-se sobre modelagem como ferramenta para tomada de decisão e controle. Por fim, descreve-se a estrutura de controle da administração pública, com foco na atuação do TCU e sua interface com o controle ambiental e a fiscalização de obras.

2.1 Esgotamento sanitário como política pública nacional

Os serviços de saneamento básico consistem no abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. A prestação desses serviços é essencial à saúde pública e à proteção do meio ambiente.

Os sistemas de esgotamento sanitário (SES), em particular, consistem nas soluções utilizadas para coleta, transporte, tratamento e disposição final dos efluentes sanitários produzidos. Objetiva-se o fornecimento de melhores condições de saúde à população, reduzindo o índice de doenças de veiculação hídrica e propiciando o saneamento ambiental da bacia hidrográfica receptora dos efluentes. A Lei n. 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, conceituou esgotamento sanitário da seguinte forma (BRASIL, 2007):

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

(...)

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;

Além da complexidade inerente ao setor, quando se trata de análise de uma política pública, acrescenta-se a relevância de um completo entendimento do processo e das restrições sistêmicas. É necessário entender o que levou o problema público a aparecer; ganhar relevância na comunidade política; quais soluções e alternativas existem para mitigá-lo; por que tais soluções ainda não foram implementadas; quais são os obstáculos para efetivação de certas medidas; quais são as possibilidades de que as medidas tragam os resultados esperados; e como avaliar os impactos da sua implementação (SECCHI, 2015, p. xii e 9).

2.1.1 Impactos ambientais

A implantação de SES apresenta diversos impactos ambientais positivos, mas também traz impactos negativos caso não seja planejado e executado adequadamente.

Quando corretamente implantados, os SES possibilitam preservação dos ecossistemas, redução de doenças, melhoria na educação infantil, incremento na produtividade dos trabalhadores e valorização da área afetada com influência nas dimensões ecológicas, sociais e econômicas (ANA, 2010; BARROS; SOBRAL; GUNKEL, 2013; CEBDS; TRATA BRASIL, 2014; EL-FADEL *et al.*, 2014; REIS; CUNHA, 2006; SCRIPTORE; AZZONI; MENEZES FILHO, 2015; TEIXEIRA; GOMES; SOUZA, 2011; TEIXEIRA *et al.*, 2014)

Quanto à dimensão ecológica, esgotos domésticos não tratados são, em regra, a principal fonte de poluição nas bacias hidrográficas (ANA, 2010, p. 14 e 58–60). Barros, Sobral e Gunkel (2013), em modelagem específica, apontaram esgoto como sendo a principal fonte de poluição do rio Ipojuca-PE. A coleta e tratamento tem forte impacto nas condições de sustentabilidade das cidades. A ausência de tratamento, no entanto, pode causar contaminação de lençóis freáticos e poluição de rios, com degradação da qualidade da água para abastecimento e impactos negativos no lazer, pesca e irrigação, além de contribuir para aumento de enchentes e reduzir benefícios associados a investimentos em abastecimento de água (REIS; CUNHA, 2006, p. 5).

Quanto à dimensão social, Teixeira, Gomes e Souza (2011, p. 203) e Teixeira *et al.* (2014, p. 90) demonstraram correlação entre esgotamento sanitário e redução de doenças gastrointestinais e mortalidade infantil. Scriptore, Azzoni e Menezes Filho (2015) apontaram significativa correlação entre a população moradora em domicílios com banheiro e água encanada e maior taxa de frequência escolar, redução de abandono escolar e menor distorção entre a série da criança e sua idade. El-Fadel *et al.* (2014) identificaram significativa correlação entre a quantidade de casos de diarreia e o nível educacional, em estudo realizado em favelas no Líbano e na Jordânia.

Quanto à dimensão econômica, CEBDS e TRATA BRASIL (2014, p. 23, 31 e 35) apontaram e quantificaram que os trabalhadores residentes em áreas sem esgotamento sanitário têm saúde mais precária e desempenho produtivo menor. Outros benefícios estão relacionados à valorização imobiliária e turismo na área beneficiada.

Por outro lado, existem também os impactos ambientais negativos, provenientes das diferentes etapas do processo, que variam com as características físico-químicas dos efluentes, entre outros. O Quadro 1 apresenta alguns impactos negativos e respectivas medidas mitigadoras. A análise do quadro revela a importância do planejamento, execução e controle das obras para mitigação dos impactos negativos.

É essencial também seguir o rito apropriado do licenciamento ambiental, inclusive quanto aos estudos prévios e à fiscalização das obras por parte do órgão licenciador (Confederação Nacional das Indústrias - CNI, 2014, p. 16, 38, 61 e 62; TCU, 2007a, p. 37–39). Uma vez licenciado o empreendimento, os compromissos assumidos devem ser acompanhados.

Quadro 1 - Impactos ambientais negativos decorrentes de SES

Potenciais impactos negativos	Medidas mitigadoras
<p>Modificação do equilíbrio hidrológico da bacia hidrográfica quando da coleta de grandes áreas.</p> <p>Alterações nos habitats da flora e fauna aquática durante as obras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliar a utilização de tecnologias de menor impacto, tal como sistemas comunitários de pequeno porte. - Planejar adequadamente a localização, o tipo de tratamento e o lançamento dos efluentes, de forma a não comprometer a qualidade dos rios. - Implantar sistemas de monitoramento, em especial quanto à erosão e sedimentação dos cursos de água.
<p>Modificação temporária das condições de vida da população durante a execução das obras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Implantar programas que envolvam a comunidade no conhecimento dos impactos e medidas atenuantes. - Adotar medidas para minimizar interferências no fluxo de veículos, circulação de pedestres, geração de ruídos e de material particulado.
<p>Produção de odores e ruído decorrentes do tratamento e eliminação do lodo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Planejar a localização das unidades compatíveis com o uso e ocupação do solo, com tecnologia adequada e com eliminação e controle de odores.
<p>Comprometimento do solo, agricultura ou águas subterrâneas e proliferação de vetores de doenças devido ao manejo do lodo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar planejamento para assegurar o uso de tecnologia adequada para manejo, tratamento e destinação do lodo, considerando a possibilidade de aplicação no solo e em cultivos agrícolas.
<p>Riscos de acidentes devido à acumulação de gases na rede.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer medidas de segurança e capacitação da equipe de manutenção da rede coletora.
<p>Riscos de comprometimento da saúde pública, devido ao vazamento (transbordamento) e a acumulação de esgoto bruto, ou ainda por falha no fornecimento de energia para o tratamento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecer programa de monitoramento e manutenção sistemático do sistema. - Implantar sistema de alerta por falhas no bombeamento. - Conscientizar a comunidade sobre os riscos de dispor resíduos sólidos na rede coletora. - Implantar geradores de energia (automáticos).
<p>Desmatamento de áreas para implantação das estações.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Promover o reflorestamento de áreas equivalentes.

Fonte: Adaptado de Banco do Nordeste (1999, p. 229).

Além dos impactos ambientais negativos referentes às obras, há outro cenário preocupante, relacionado às obras paralisadas e inacabadas. Nesses casos ocorrem problemas como valas abertas em trechos de circulação de veículos ou pessoas, estações elevatórias sem operar devido à ausência de ligação com a rede elétrica ou despejos de efluentes sem tratamento em função da não conclusão da estação de tratamento de esgoto (ETE). Ocorrências dessa natureza são extremamente prejudiciais, pois a área afetada sofrerá duplamente, pelos impactos negativos das obras inacabadas e porque continuará sem os benefícios da coleta e tratamento dos efluentes. Há também o desperdício de recursos financeiros, pois os serviços executados continuarão sem serventia até a conclusão da obra.

2.1.2 Aspectos legais e institucionais

O arranjo legal-institucional brasileiro do setor de saneamento básico abrange diferentes competências para os entes federativos e diversos atores, além da previsão de participação popular nos processos decisórios. Em função do caráter multifuncional, que abrange desde políticas de desenvolvimento urbano, até medidas relacionadas à saúde pública, há várias instituições envolvidas, com as mais variadas competências, aumentando a complexidade do setor.

Arcabouço legal

A Constituição Federal de 1988 estabeleceu que cabe à União definir diretrizes para o desenvolvimento urbano, incluindo habitação e saneamento básico⁶ (BRASIL, 1988). Programas de construção de moradias e melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico são competências comuns da União, estados e municípios⁷. Quanto à titularidade dos serviços de saneamento, a Constituição não é explícita sobre o assunto, limitando-se a estabelecer que compete aos municípios legislar e prestar, diretamente ou indiretamente, os serviços de interesse local⁸.

Por ser atividade potencialmente poluidora, está sujeita ao licenciamento ambiental, instrumento de controle ambiental previsto na Lei n. 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981).

A Resolução n. 1/1986, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), determina que, para o licenciamento ambiental, o empreendedor deverá elaborar estudo de impacto ambiental (EIA), com respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA), e submetê-lo à aprovação do órgão estadual competente ou do IBAMA em caráter supletivo (CONAMA, 1986). A Resolução CONAMA n.

⁶ Inciso XX, do art. 21, da Constituição Federal de 1988.

⁷ Inciso IX do art. 23.

⁸ Incisos I e V do art. 30.

237/1997, por sua vez, no seu Anexo 1, lista as atividades sujeitas ao licenciamento, contemplando explicitamente interceptores, emissários, estação elevatória e estação de tratamento de esgoto (ETE) (CONAMA, 1997). Especificamente para sistemas de esgotamento sanitário, a Resolução CONAMA n. 377/2006 dispõe sobre a possibilidade de licenciamento simplificado em casos de sistemas de pequeno e médio porte (CONAMA, 2007).

Por meio do Decreto n. 8.437/2015, o Governo Federal alterou as regras de licenciamento, buscando diminuir conflitos entre o IBAMA e os órgãos estaduais e municipais, em especial para grandes empreendimentos de infraestrutura. Foram estabelecidas as tipologias de empreendimentos cujo licenciamento ambiental é de competência da União (BRASIL, 2015). O decreto não abordou os SES.

A Lei n. 8.080/1990, que dispõe sobre as condições para promoção, proteção e recuperação da saúde e criou o Sistema Único de Saúde, destacou o saneamento básico reiteradas vezes, considerando-o como determinante para saúde (BRASIL, 1980). O saneamento assumiu papel central na política de saúde pública (MCIDADES, 2013, p. 16). A lei também destaca a necessidade da União, estados e municípios, nos respectivos âmbitos administrativos, participarem da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico e proporem a celebração de convênios, acordos e protocolos internacionais relativos à saúde, saneamento e meio ambiente.

A Lei n. 9.433/1997, que trata sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, determinou a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Finalmente, evidencia-se a Lei n. 11.445/2007, que dispõe sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico (BRASIL, 2007). É um marco regulatório para o setor e veio após o vazio criado com o fim do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), que perdurou entre as décadas de 70 e começo da década de 90, trazendo maior estabilidade institucional e favorecendo o ambiente para investimentos (MADEIRA, 2010, p. 144 e 145). A referida lei é dividida em dez capítulos, dos quais destacam-se os referentes a: princípios, titularidade, planejamento e política federal - conforme se discute nos parágrafos seguintes.

Quanto aos princípios fundamentais, a lei estabeleceu, em seu art. 2º, que os serviços públicos de saneamento básico devem ser prestados com base nos seguintes princípios: universalização do acesso; integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico; articulação com outras políticas públicas; eficiência e sustentabilidade econômica; transparência baseada em sistemas de informações e processos

decisórios institucionalizados; controle social; integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Quanto à titularidade dos serviços, a lei não tratou o assunto de forma explícita. Existe polêmica, mas a titularidade tende a ser dos municípios, pois o art. 30 da Constituição define a competência municipal para serviços públicos de interesse local (GALVÃO JÚNIOR; SILVA, 2013, p. 650; HELLER; OLIVEIRA; REZENDE, 2010; MADEIRA, 2010, p. 144 e 145). Situação mais delicada consiste nos casos das regiões metropolitanas, que são definidas mediante lei estadual, nos termos do art. 25 da Constituição, e têm interesse comum entre os municípios integrantes.

Esses conflitos são decorrentes, principalmente, da atuação das companhias estaduais de economia mista na prestação dos serviços de saneamento. Ainda na década de 70, em cada unidade da federação, foi criada uma companhia estadual de saneamento básico, caracterizada como uma empresa de economia mista com a quase totalidade do capital acionário nas mãos dos governos estaduais, visando prestar serviço aos municípios que firmassem contratos de concessão e aderissem ao PLANASA. Sob a égide do regime autoritário, os municípios foram quase que obrigados a concederem a prestação para as companhias estaduais (HELLER; OLIVEIRA; REZENDE, 2010).

A polêmica caminha para a pacificação, na medida em que, em análise de Ação Direta de Inconstitucionalidade para o caso concreto do Rio de Janeiro, o Supremo Tribunal Federal, em 2013, decidiu que: (i) os serviços de saneamento são, em regra, municipais nos casos dos municípios isolados (aqueles não envolvidos em regiões metropolitanas); e (ii) nos ambientes de regiões metropolitanas, tais serviços não se transformam em serviços estaduais, mas existe o dever da gestão compartilhada, sem implicar em qualquer perda aos municípios (ALOCHIO, 2013).

O titular do serviço, nos termos dos art. 8 a 13 da Lei 11.445/2007, pode delegar a organização, regulação, fiscalização e prestação do serviço (BRASIL, 2007). É dever do titular, entre outros, elaborar os planos de saneamento básico, estabelecer mecanismos de controle social e sistema de informações sobre os serviços, articulado com o sistema nacional de informações em saneamento.

No âmbito nacional, em grande parte, os SES são operados pelas respectivas companhias estaduais de saneamento. No caso dos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, por exemplo, os serviços são prestados pela Companhia Pernambucana de Saneamento, Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), Companhia de Água e Esgoto do Ceará e Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, respectivamente. Mesmo nesses estados há vários sistemas operados pelos municípios, como em Santa Cruz do Capibaribe e Serra Talhada-PE, Sousa e Pombal-PB, São Gonçalo do Amarante e Ceará-Mirim-RN, Sobral e Iguatu-CE (MCIDADES, 2014a).

Quanto ao planejamento, devem ser elaborados os planos de saneamento, assegurada sua publicidade, devendo contemplar: (i) diagnóstico da situação e dos impactos nas condições de vida da população, utilizando sistema de indicadores e apontando as causas das deficiências detectadas; (ii) objetivos e metas de curto, médio e longo prazos para universalização; (iii) programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e metas, identificando possíveis fontes de financiamento; e (iv) mecanismos para avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações.

O Decreto n. 7.217/2010, que regulamentou a lei do saneamento básico, estabeleceu que, a partir de 2014, a existência de plano de saneamento básico, elaborado pelo titular dos serviços, seria condição para acesso a recursos orçamentários da União, ou a recursos de financiamentos geridos por órgão ou entidade da administração pública federal, quando destinados a serviços de saneamento básico (BRASIL, 2010). Considerando que a maior parte dos investimentos em esgotamento sanitário são custeados com recursos da União, conforme mais detalhado adiante, a medida buscava incentivar a prática de planejamento no setor. Posteriormente, com novo decreto - Decreto n. 8.211/2014 -, esse prazo foi prorrogado por mais dois anos (BRASIL, 2014a). Essa prorrogação deu fôlego novo para 70% dos municípios brasileiros, que ainda não tinham elaborado o plano de saneamento (Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento - AESB, 2014).

Entre as dificuldades de planejamento, Lisboa, Heller e Silveira (2013) apontaram a indisponibilidade financeira como principal entrave, além de limitações quanto à qualificação profissional, capacidade técnica, vontade política etc., sobretudo nos municípios de pequeno porte. Ressalta-se que os autores consideraram, essencialmente, entrevistas qualitativas realizadas com representantes de autarquias municipais, não fazendo parte da metodologia de pesquisa confrontar as conclusões obtidas com outras fontes. Em que pese os interessantes resultados obtidos, considerando essa limitação metodológica, não é possível afirmar que a indisponibilidade financeira é, de fato, o principal motivo de carência de planejamento no setor. Não foi objeto do estudo, por exemplo, verificar se houve tratativas efetivas, por parte dos gestores, para tentar obter recursos para tais fins.

Quanto à política federal, a lei apontou que a União deveria estabelecer sua política de saneamento obedecendo uma série de diretrizes, a exemplo de: priorizar as ações que promovam a equidade social e territorial; adotar critérios objetivos de elegibilidade e prioridade, levando em consideração fatores como nível de renda e cobertura, grau de urbanização, disponibilidade hídrica e riscos ambientais; assegurar que a aplicação dos recursos públicos se dê segundo critérios de promoção da salubridade

ambiental, de maximização da relação benefício-custo e de maior retorno social; e minimizar os impactos ambientais relacionados à implantação e desenvolvimento das ações de saneamento básico⁹.

A alocação de recursos federais deve ser condicionada ao alcance de níveis mínimos de desempenho do prestador na gestão técnica, econômica e financeira e de eficiência e eficácia dos serviços. Como instrumento de transparência, a lei instituiu o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, cujas informações devem constar na internet¹⁰. Há alguns estudos sobre a utilização de sistemas de informações e indicadores na gestão dos serviços de saneamento, mas o mesmo não se observa para o controle das obras (GALVÃO JÚNIOR; SILVA, 2013; SANTIAGO; DIAS, 2012; SCARATTI; MICHELON; SCARATTI, 2013; VON SPERLING; VON SPERLING, 2013).

Em estudo objetivando avaliar a eficiência da gestão dos serviços municipais de água e esgoto, Scaratti, Michelon e Scaratti (2013) concluíram pela gestão ineficiente na grande maioria dos municípios estudados, em uma amostra de 53 municípios com população entre 50 mil e 100 mil habitantes. Os autores utilizaram indicadores de desempenho obtidos no SNIS com relação às perspectivas de clientes, mercado, conformidade dos produtos e a situação econômico-financeira.

Von Sperling e Von Sperling (2013) propuseram a utilização de 46 indicadores voltados para prestadores de serviço, agências reguladoras, administração pública e usuários. Em que pese os autores terem considerado o governo como ator envolvido, o estudo não abordou a execução das obras propriamente.

Santiago e Dias (2012) apresentaram 42 indicadores, divididos nas dimensões tecnológica, econômica/ financeira, ambiental/ ecológica, conhecimento e inclusão social, mas informações relacionadas à execução das obras também não foram objeto da análise.

O uso de indicadores não deve ser limitado aos prestadores e reguladores dos serviços, que devem inserir a população no processo, mesmo com as dificuldades inerentes à institucionalidade dos serviços e deficiências do controle social (GALVÃO JÚNIOR; SILVA, 2013, p. 673 e 674).

Ademais, vários autores relataram problemas relacionados à qualidade das bases de dados disponíveis para o setor (BITAR; BRAGA, 2013, p. 155 e 156; HELLER; RODRIGUES, 2014, p. 65; MONTENEGRO; CAMPOS, 2014, p. 336 e 343; MORAES *et al.*, 2014, p. 273–275).

⁹ Conforme arts. 48 a 53 da Lei.

¹⁰ No *site* www.snis.gov.br encontra-se disponível o SNIS, que se apoia em um banco de dados com informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro e de qualidade sobre saneamento básico.

Em análise geral da Lei n. 11.445/2007, percebe-se a intenção do legislador em enfatizar o controle em geral, e do social em especial, na prestação dos serviços. Temas como transparência, publicidade e acesso à informação, aparecem reiteradas vezes no texto legal¹¹.

Como valioso instrumento relacionado à política federal, o Ministério das Cidades capitaneou a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), cuja principal finalidade é estabelecer diretrizes, metas e ações para alcance de níveis crescentes dos serviços de saneamento. O Plano prevê ações estratégicas, para o período entre 2014 e 2033, e deve servir de referência para planos regionais e municipais. Sua elaboração passou por três fases: (i) formulação do “*Pacto pelo Saneamento Básico: mais saúde, qualidade de vida e cidadania*”, que marcou o início do processo participativo de elaboração; (ii) elaboração do estudo denominado “*Panorama do Saneamento Básico no Brasil*”, que resultou em versão preliminar do PLANSAB; (iii) consulta pública para maior engajamento da sociedade (MCIDADES, 2013, p. 13–15 e 108–110).

Quanto aos investimentos realizados no setor, destacam-se os convênios entre a União e os estados ou municípios para implantação ou ampliação dos SES (MCIDADES, 2013, p. 55, 68 e 73). Os procedimentos relacionados a celebração, execução e prestação de contas dos convênios seguem normativos próprios¹². Os convênios celebrados até 2008, sujeitam-se às disposições da Instrução Normativa 1/1997 da Secretaria do Tesouro Nacional (STN). Entre 2008 e 2011, as normas passaram a ser as dispostas na Portaria Interministerial 127/2008 dos Ministérios do Planejamento, Orçamento e Gestão, da Fazenda e do Controle e da Transparência. Na sequência, foi publicada a Portaria Interministerial 507/2011, com vigência a partir de 1/1/2012. Esse normativo revogou a portaria anterior, passando a regular as transferências voluntárias.

Arranjo institucional

União, estados e municípios possuem competências compartilhadas no setor, seja no planejamento, prestação ou controle dos serviços, destacando-se a previsão de cooperação entre as esferas.

À União cabe definir parâmetros nacionais para prestação dos serviços e estimular a implementação de infraestrutura e serviços de saneamento pelos estados e municípios, além da aplicação de recursos que promovam desenvolvimento sustentável urbano e regional. Quanto aos investimentos, a gestão dos recursos onerosos, independentemente do porte dos municípios, é atribuição exclusiva do

¹¹ A exemplo do que se observa no art. 2º, inc. X e XI, art. 3º, inc. IV, art. 9º, inc. V e VI, art. 11, parág. 2º, inc. V, e parág. 3º, art. 21, inc. II, art. 23, inc. VIII e X, art. 26, art. 27, inc. I, art. 47 e art. 53 da Lei.

¹² Maiores detalhes sobre a operacionalização desses procedimentos são descritos no subtítulo “2.1.4 - Previsão de investimentos”.

Ministério das Cidades, com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). No tocante aos recursos do Orçamento Geral da União (OGU), diversas são as instituições federais atuantes, com destaque para os Ministérios das Cidades e da Saúde. A atuação do Ministério das Cidades é dirigida a municípios com população superior a 50 mil habitantes, integrantes de regiões metropolitanas ou regiões integradas de desenvolvimento. Ao Ministério da Saúde, que atua por intermédio da FUNASA, cabe o atendimento a municípios com menos de 50 mil habitantes (MCIDADES, 2013, p. 16–19). Ambos atuam especialmente firmando convênios com estados e municípios.

Aos estados, cabe a responsabilidade de promover a melhoria das condições de saneamento e instituir, por meio de leis, as regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões. Essas regiões são constituídas por agrupamentos de municípios vizinhos para planejar a execução de funções públicas de interesse comum, entre elas o saneamento. Cabe também aos estados supervisionar e fiscalizar as companhias estaduais de saneamento. Além disso, frequentemente são firmados convênios diretamente com o Governo Federal para execução de melhorias, implantação ou ampliação da infraestrutura de esgotamento sanitário. Depois de executadas as obras, os SES passam a ser operados pelas companhias de saneamento.

Aos municípios cabem as responsabilidades dos titulares dos serviços¹³, podendo delegar parte delas. Da mesma forma que ocorre com os governos estaduais, também são frequentes convênios com o Governo Federal.

Existe envolvimento de diversas instituições na execução dos programas, com destaque para os Ministério das Cidades e da Saúde, em nível federal, e para os governos estaduais, companhia estaduais de saneamento e prefeituras municipais. Para a presente tese, destaca-se também, no âmbito federal, a atuação do Ministério da Integração Nacional (MI). Como coordenador do PISF, o Ministério deve apoiar os estados e municípios, junto aos órgãos federais do setor de saneamento básico, para obter prioridade na aplicação de recursos federais, em associação com recursos locais (estados e municípios), na coleta, tratamento e disposição adequada dos esgotos sanitários urbanos, conforme estabelecido no Programa Básico Ambiental n. 32 - Programa de Apoio ao Saneamento Básico do PISF - (MI, 2010). Além disso, com menos relevância, existe também a atuação da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), no tocante a alguns municípios integrantes da bacia do São Francisco.

¹³ Como mencionado na análise do “arranjo legal”, ainda existe certa polêmica quanto à titularidade dos serviços. No entanto, caminha-se para a pacificação de que cabe aos municípios a titularidade para prestação desses serviços.

Há também interface com os órgãos ambientais estaduais, no que diz respeito ao licenciamento ambiental. No âmbito do Ministério de Meio Ambiente (MMA), além do IBAMA, há atuação da ANA, responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Além de responsabilidades referentes à outorga de direito do uso da água para diluição de efluentes, a Agência desenvolve ações como o Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas, destacando-se ações voltadas à operação eficiente das estações de tratamento de esgotos.

Existem outras instituições envolvidas mais indiretamente. É o caso, por exemplo, dos Conselhos Federais de Engenharia e Agronomia (CREA), quanto à atuação dos profissionais de engenharia, da Controladoria-Geral da União (CGU) e do TCU, no controle governamental.

2.1.3 Déficit de atendimento

Em análise dos índices de atendimento com rede de água e com coleta e tratamento de esgoto, por região geográfica do Brasil, observa-se que o Norte e o Nordeste têm índices significativamente inferiores à média do país, de acordo com dados do SNIS, atualizados até 2012 (Tabela 1).

Tabela 1 - Níveis de atendimento com rede de água e com coleta e tratamento de esgoto

Regiões	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos gerados (%)
	Água		Coleta de esgoto		
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	55,2	68,6	9,2	11,9	14,4
Nordeste	72,4	89,5	22,2	29,4	31,0
Sudeste	91,8	97,0	75,4	80,3	42,7
Sul	87,2	97,2	36,6	42,7	36,2
Centro-Oeste	88,0	96,5	42,7	47,1	44,2
Brasil	82,7	93,2	48,3	56,1	38,7

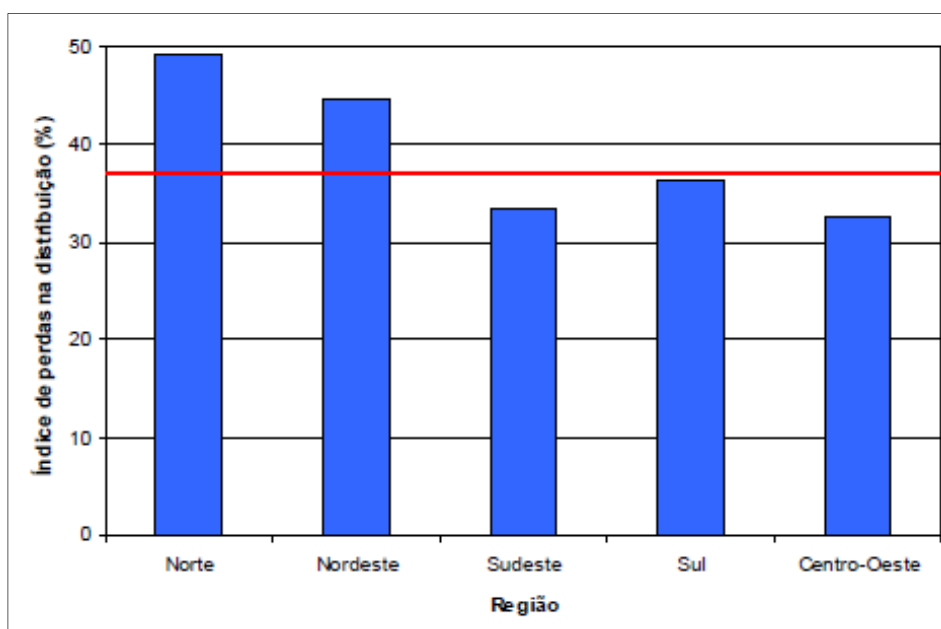
Fonte: MCIDADES (2014a, p. 15).

Ressalta-se que os percentuais apresentados no SNIS (MCIDADES, 2014a, p. 15) tem certa variação em relação aos constantes do PLANSAB (MCIDADES, 2013, p. 25–28). Essa variação não muda o mérito da questão, e pode ser explicada, em parte, tendo em vista que: (i) no SNIS, consideram-se as informações prestadas pelos prestadores de serviço; (ii) no PLANSAB, consideram-se outras fontes de informação, a exemplo do Censo 2010 e do Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios, ambas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Em que pese a situação do abastecimento de água mostrar-se melhor do que esgotamento sanitário, iniciativas também devem ser tomadas para melhorar sua infraestrutura. Citam-se, como exemplo, as

perdas de água na distribuição (SCARATTI; MICHELON; SCARATTI, 2013, p. 334). O Ministério das Cidades utiliza o índice de perdas na distribuição como parâmetro para avaliação. Esse índice corresponde a comparação entre o volume de água disponibilizado para distribuição e o volume consumido. Está associado à qualidade da infraestrutura e da gestão dos sistemas. A média brasileira de perdas, referente a 2012, foi de 36,9%, com picos de 49,3% e 44,6% nas regiões Norte e Nordeste respectivamente (Figura 1). Para explicar as perdas de água em patamares acima do aceitável, algumas hipóteses podem ser levantadas, tais como: falhas na detecção de vazamentos; redes de distribuição funcionando com pressões muito altas; problemas na qualidade da operação; dificuldades no controle das ligações clandestinas e na aferição/ calibração dos hidrômetros; e ausência de programa de monitoramento de perdas (MCIDADES, 2014a, p. 26–28).

Figura 1 - Índice de perdas na distribuição de água, por região geográfica em 2012



Nota: a linha vermelha representa a média nacional.

Fonte: MCIDADES (2014a, p. 28).

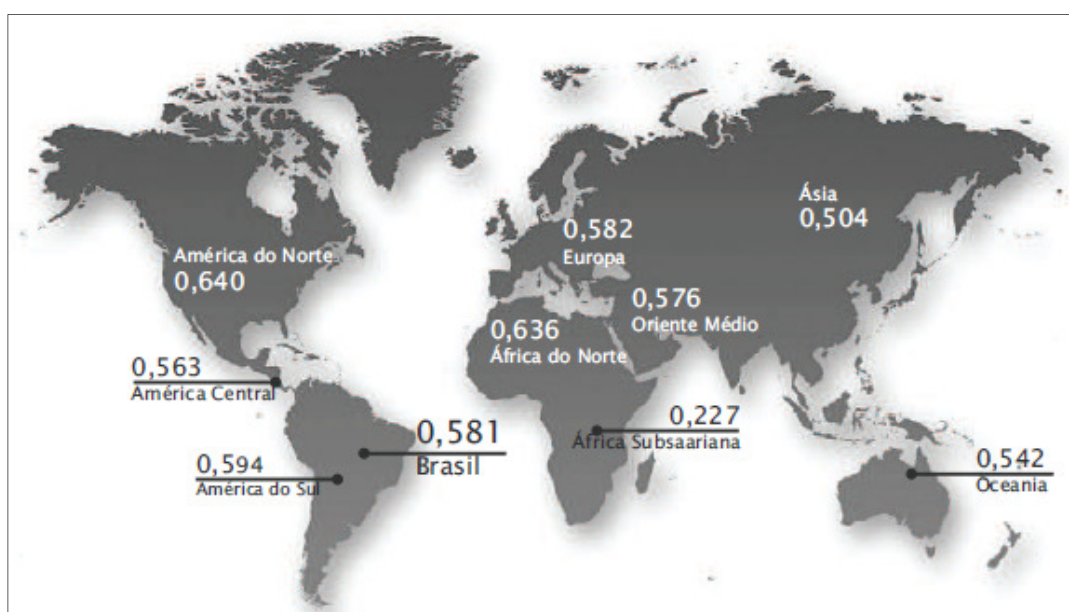
Em termos internacionais, o Brasil precisa evoluir na área de saneamento. Dados comparativos colocam o país em 112º num ranking de 200 países, considerando o Índice de Desenvolvimento do Saneamento como referência (CEBDS; TRATA BRASIL, 2014, p. 5 e 6). Esse índice foi calculado nos moldes do Índice de Desenvolvimento Humano, com base nos dados disponibilizados no “*World Development Indicators 2013*” do Banco Mundial. O índice considera o percentual da população com acesso a instalações sanitárias¹⁴ e a evolução desse percentual entre 2000 e 2011. Cada indicador foi ajustado no intervalo entre 0 e 1, sendo zero correspondente à pior situação e um à melhor. O índice

¹⁴ O indicador de acesso a instalações sanitárias (*access to improved sanitation facilities*) é a percentagem da população que usa instalações sanitárias com separação higiênica dos excrementos humanos, incluindo banheiros com ligação à rede geral ou fossa.

é a média ponderada com pesos 40% e 60% dos índices de proporção e de crescimento da proporção. Entende-se que o fato de ponderar também percentuais de evolução pode prejudicar o resultado para países que já tem uma boa cobertura do SES, como é o caso de continentes como América do Norte e Europa. Acrescenta-se que não se trata de um índice consolidado, mas que pode ser utilizado como macro indicador para fins de comparação ilustrativa entre países.

O índice brasileiro é de 0,581, portanto inferior às médias da América do Norte (0,640), Europa (0,582) e América do Sul (0,594). Além disso, países como Equador (0,719), Chile (0,707) e Argentina (0,667) registraram índices superiores aos do Brasil em 2011 (Figura 2). Para esses países a pontuação foi superior tanto por conta dos níveis de cobertura superiores aos do Brasil, como pelo maior ritmo de expansão da cobertura de saneamento.

Figura 2 - Índice de Desenvolvimento do Saneamento em 2011



Fonte: CEBDS e TRATA BRASIL (2014, p. 6).

As políticas públicas não propiciaram a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico, em especial quanto ao esgotamento sanitário, o que teria contribuído para melhorar as condições de vida da população (MCIDADES, 2013, p. 28; SOUSA, 2011, p. 2-4 e 80-11).

2.1.4 Previsão de investimentos

Depois do PLANASA, a partir de 2003, os investimentos em esgotamento sanitário aumentaram no país, em especial com recursos do OGU, do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço e do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). No período de 1995 a 2011, considerando apenas abastecimento de água e esgoto, investiram-se R\$ 120 bilhões (MCIDADES, 2013, p. 55, 68 e 73).

São estimados investimentos de R\$ 508,5 bilhões em saneamento básico entre 2014 e 2033 (data-base de dezembro/2012), sendo a maior parte com recursos federais (MCIDADES, 2013, p. 141). As previsões consideraram o cenário de referência da política nacional de saneamento, em um contexto de crescimento econômico. Considerou-se, praticamente, a universalização do abastecimento de água e da destinação final de resíduos sólidos, bem como a elevação significativa dos serviços de esgoto e drenagem pluvial.

Esses valores consideram investimentos em medidas estruturais e estruturantes. As medidas estruturais são relativas à expansão dos serviços e à reposição dos componentes. Medidas estruturantes são de natureza mais geral, que dão suporte político e gerencial à sustentabilidade da prestação de serviços, suscitando o aperfeiçoamento da gestão, a exemplo de ações para aumento da eficiência, capacitação técnica e campanhas educativas (MCIDADES, 2013, p. 128 e 140).

Quanto às necessidades de investimentos, em todas as regiões do país, os investimentos para esgoto são superiores aos de abastecimento de água (Tabela 2). Apenas para SES são necessários R\$ 181,9 bilhões, sendo mais de 90% em áreas urbanas¹⁵. Estima-se que 78% do valor seja proveniente de recursos do OGU ou por agentes financeiros do Governo Federal. Espera-se atingir cerca de 90% da população com serviços adequados de esgoto (MCIDADES, 2013, p. 121, 131 e 132).

Tabela 2 - Necessidade de investimentos em abastecimento de água e SES

	Abastecimento de água			Esgotamento sanitário			Total		
	(em milhões de R\$)			(em milhões de R\$)			(em milhões de R\$)		
	2014 a 2018	2014 a 2023	2014 a 2033	2014 a 2018	2014 a 2023	2014 a 2033	2014 a 2018	2014 a 2023	2014 a 2033
Norte	3.800	8.617	12.083	5.085	9.587	18.435	8.885	17.204	30.518
Nordeste	8.270	17.115	28.409	13.775	23.919	45.284	22.045	42.034	73.693
Sudeste	13.171	27.220	46.935	19.301	37.244	72.982	32.472	64.464	119.917
Sul	6.411	13.309	23.077	8.448	14.203	29.926	14.589	27.512	50.002
Centro-Oeste	3.287	7.197	11.645	5.920	9.783	18.266	9.206	16.980	29.911
Brasil	34.938	73.457	122.149	52.528	94.736	181.893	87.466	168.193	304.042

Nota: Valores na data-base de dezembro/2012.

Fonte: Adaptado de MCIDADES (2013, p. 132).

¹⁵ Os domicílios de situação urbana são aqueles localizados nas áreas urbanas, que são áreas internas ao perímetro urbano de uma cidade ou vila, definido por lei municipal, podendo ser classificadas em área urbanizada, não urbanizada e urbana isolada. Os domicílios de situação rural são aqueles localizados nas áreas rurais, definidas como áreas externas aos perímetros urbanos, inclusive aglomerados rurais de extensão urbana, povoados, núcleos etc. (IBGE, 2011).

Nessas estimativas consideraram-se as ligações prediais, redes secundárias de coleta e coletores principais, inclusive elementos acessórios, como estações elevatórias. Para tratamento dos efluentes, considerou-se tratamento secundário, em unidades convencionais ou em lagoas de estabilização, ou por associação desses, conforme o porte do município. No caso dos domicílios que não terão acesso à rede pública, a solução típica considerada foi fossa séptica seguida de dispositivo de infiltração no solo (REZENDE *et al.*, 2014, p. 90). A estimativa e atualização dos custos unitários e globais para expansão e reposição da infraestrutura baseou-se nos preços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, mantido pelo Caixa Econômica Federal e atualizado pelo IBGE (REZENDE *et al.*, 2014, p. 91).

Por meio dos convênios, a gestão de recursos federais é descentralizada, a fim de alcançar objetivos compartilhados. Em geral, os convênios envolvem quatro fases, a saber: proposição, celebração/formalização, execução e prestação de contas, conforme descritas a seguir (TCU, 2013b, p. 19).

A etapa de proposição, materializada com a solicitação de verbas federais visando aplicação nos estados e municípios, inicia-se com a identificação das necessidades locais e definição de prioridades. Na sequência, o proponente persegue, no órgão apropriado, os recursos necessários à implantação do projeto. Para propor a celebração de convênio, o interessado deve atentar para as seguintes medidas: elaborar plano de trabalho, com descrição detalhada do objeto; estruturar orçamento realista; e elaborar cronograma de execução factível.

Uma vez selecionada a proposta, para efetivar a celebração do convênio, há uma série de condições a serem atendidas, como aprovação do plano de trabalho e do projeto e existência da licença ambiental prévia. Além dessas, há outras obrigações estabelecidas na Lei de Responsabilidade Fiscal e nas Leis de Diretrizes Orçamentárias (LDO), tais como: demonstração de regularidade fiscal; atendimento dos limites com gastos de pessoal; adimplência tributária com a União; adimplência com outros convênios; e cumprimento dos limites constitucionais da aplicação de recursos em educação e saúde. O solicitante precisa atender também exigências do programa, do órgão responsável pela transferência e dar publicidade ao ajuste.

A boa e regular execução do convênio depende do cumprimento das atividades planejadas e das normas de administração orçamentária e financeira da administração pública federal. A execução financeira compreende uma série de procedimentos, entre os quais, utilização de uma conta bancária específica para o convênio e atendimento dos estágios para pagamento das despesas (empenho, liquidação e pagamento), sendo, em regra, exigidos os pagamentos exclusivamente mediante crédito em conta bancária dos prestadores de serviço. Quanto à execução física, têm-se também várias fases envolvidas, que devem ser executadas em sincronia com a parte financeira. Para contratação das

obras, exige-se a observação de Lei de Licitações e Contratos (Lei n. 8.666/1993) e demais normas federais pertinentes, tanto com relação à seleção da melhor proposta, como ao contrato propriamente. É um processo complexo, merecendo especial atenção dos gestores públicos.

A prestação de contas encerra o ciclo do convênio e deve ocorrer no prazo de 60 dias do término da vigência, sendo obrigatória para todo órgão que receber recursos de convênios. Entre outros documentos, são necessários: relatório de cumprimento do objeto; relação dos serviços executados; declaração de alcance dos objetivos a que se propunha; comprovante de recolhimento do saldo de recursos, quando houver; e notas e comprovantes fiscais.

Em que pese os significativos investimentos previstos, o desempenho da política de saneamento nas últimas duas décadas não trouxe os resultados esperados. Sousa (2011, p. 2–4 e 80–81) concluiu que, dentre as políticas sociais, a de saneamento foi uma das que apresentou pior desempenho quando comparados os investimentos previstos e os resultados obtidos. Entre os principais obstáculos, a autora apontou o contingenciamento de recursos, déficit tecnológico e má gestão das empresas estaduais de saneamento. Ademais, o estudo ressaltou que a edição do marco regulatório (Lei n. 11.445/2007), mesmo com vários avanços, não trouxe elementos suficientes para garantir maior dinamização do setor, a exemplo do reconhecimento da titularidade municipal dos serviços e definição de papel mais ativo para a União.

2.2 Geotecnologias como ferramenta de gestão

As informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, meio ambiente, propriedades, animais e plantas sempre foram usadas nas sociedades organizadas, mas eram trabalhadas apenas em documentos e mapas em papel, limitando a análise combinada. Com a informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o geoprocessamento. O termo geoprocessamento denota a disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratamento da informação geográfica. Em um país com as dimensões do Brasil, e com carência de informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas urbanos, rurais e ecológicos, o geoprocessamento tem enorme potencial (CÂMARA; DAVIS JÚNIOR, 2001, p. 1).

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações georreferenciadas. Dentre as geotecnologias têm-se o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), o sensoriamento remoto e os SIG.

2.2.1 Sistema de informações geográficas

O GNSS revolucionou a mensuração da posição porque permitiu às pessoas saberem facilmente, com boa precisão, sua localização na superfície terrestre. Entre os sistemas dessa natureza destacam-se o *Global Positioning System* (GPS), de propriedade dos Estados Unidos, o *Global Navigation Satellite System*, da Rússia, e o Galileo, da Comunidade Europeia. A acurácia varia em função do tipo de receptor empregado, local e período do dia em que foi realizada a observação, entre outros. Um GPS simples pode ser comprado por cerca de USD 100,00, com precisão de 10 metros. O GPS diferencial combina os sinais dos satélites com sinais de correção recebidos a partir de estações-base colocadas na Terra, aumentando a precisão, que pode ser maior que um metro (LONGLEY *et al.*, 2013, p. 141).

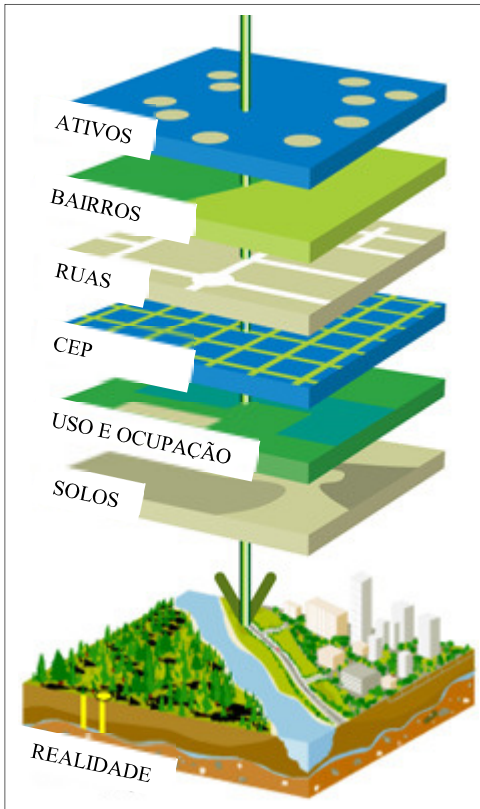
O sensoriamento remoto caracteriza-se pela utilização de sensores para captação e registro a distância, sem contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície do alvo. Esses dados são passíveis de armazenamento, manipulação e análise com auxílio de programas computacionais. Além da obtenção de imagens de satélite, evidencia-se também o monitoramento com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). Os VANT são pequenas aeronaves não tripuladas que podem realizar diferentes tarefas, entre as quais, obtenção de imagens aéreas e filmagem.

Os SIG são sistemas que realizam tratamento e representação computacional dos dados geográficos. A principal diferença para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias de dados geográficos (CÂMARA, 2005, p. 2). Com os SIG, visualizam-se as medições realizadas com GNSS, as imagens coletadas por sensoriamento remoto e acrescentam-se outros dados geométricos ou tabulares, tudo na mesma plataforma. Contemplam ferramentas computacionais que permitem integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados, possibilitando a realização de análises mais complexas.

É possível inserir, em uma única base, dados provenientes dos meios físico, biótico e socioeconômico, incluindo dados censitários, cadastros urbano e rural e imagens de satélite. Permite combiná-los, com apoio de algoritmos de manipulação e análise, bem como consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos. Para cada lote em um cadastro urbano, por exemplo, um SIG guarda, além de dados descritivos, como proprietário e valor do Imposto Predial e Territorial Urbano, dados com as coordenadas do lote (CÂMARA, 2005, p. 2).

A visualização dos diversos dados armazenados pode ser feita por etapas, permitindo analisar cada componente de forma isolada ou em conjunto com outros. A Figura 3 é um desenho esquemático das camadas de informação (*layers*) de um SIG.

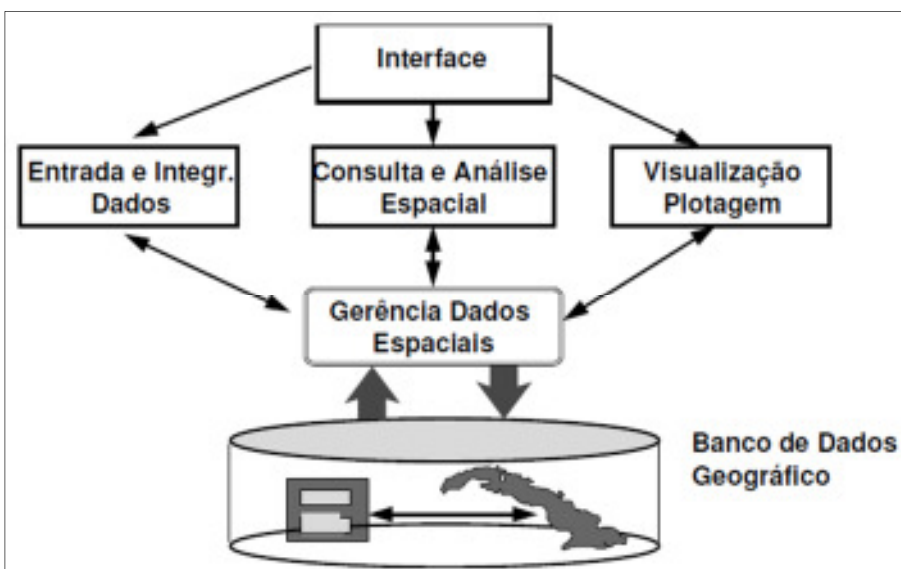
Figura 3 - Desenho esquemático das camadas de informação de um SIG de cadastro urbano



Fonte: Adaptado de ESRI (2015).

Diversos tipos de sistemas manipulam dados espaciais, como os sistemas de *Computer-Aided Design*. Os SIG diferenciam-se, principalmente, por permitirem a realização de complexas operações de análise espacial. Apresentam os seguintes componentes: interface com usuário; entrada e integração de dados; consulta e análise espacial (funções de processamento); visualização e plotagem; e gerência de dados (armazenamento e recuperação), conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Arquitetura de sistema de informações geográficas



Fonte: Câmara e Queiroz (2001, p. 3).

Essa tecnologia vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, análise de recursos naturais, transportes, energia e gestão ambiental (SILVA; ZAIDAN, 2011, p. 11–16). Uma das suas principais características é a capacidade de manipular dados gráficos (cartográficos) e não-gráficos (descritivos) de forma integrada. O acesso às informações descritivas de uma entidade pode ser obtido a partir de sua localização geográfica e vice-versa. Podem-se também fazer conexões entre entidades com base em relacionamentos espaciais.

O conjunto das funções de processamento é o componente que mais se diferencia de sistema para sistema, sendo a maioria das informações geradas representadas na forma de mapas. Existem várias aplicações no âmbito da gestão pública, sendo frequentemente incorporados no processo de tomada de decisão desde o nível local até o nacional (LONGLY *et al.*, 2013, p. 46). O Quadro 2 elenca algumas dessas aplicações.

Quadro 2 - Aplicações de SIG na gestão pública

Área	Aplicações na gestão pública
Saúde	Análise de possíveis focos de doenças
Serviço social	Planejamento de programas e intervenção social
Segurança pública	Realocação de recursos e infraestrutura policial
Planejamento do uso da terra	Avaliação do uso da terra baseada nas características da população do entorno
Monitoramento ambiental	Modelagem de dano ambiental potencial
Gerenciamento de emergências	Modelagem da capacidade de resposta dos serviços de emergência

Fonte: Adaptado de Longley *et al.* (2013, p. 48 e 49).

A captura dos dados pode ser de várias formas, seja para dados gráficos ou alfanuméricos, de forma manual ou automática, a exemplo de leitura ótica, digitalização de mapas ou aquisição de imagens obtidas com sensoriamento remoto ou bases de dados disponíveis.

Várias instituições oficiais disponibilizam imagens de satélite e dados espaciais em geral, como: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE - imagens de satélite), IBGE (dados demográficos), ANA (hidrografia) e Ministério do Planejamento (convênios federais). Nesse contexto, destacam-se:

- Infraestrutura Nacional de Dados Abertos (INDA): conjunto de padrões, tecnologias, procedimentos e mecanismos de controle necessários para atender às condições de

disseminação e compartilhamento de dados e informações públicas. O acesso aos dados pode ser no Portal Brasileiro de Dados Abertos¹⁶; e

- Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE): conjunto integrado de tecnologias, políticas, mecanismos e procedimentos de coordenação, monitoramento, padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal (BRASIL, 2008). O acesso aos dados pode ser no Portal Brasileiro de Dados Espaciais - SIG Brasil¹⁷.

A INDE, no âmbito do Poder Executivo federal, foi instituída pelo Decreto n. 6.666/2008, que definiu dado geoespacial nos seguintes termos (BRASIL, 2008):

Art. 2º Para os fins deste Decreto, entende-se por:

I - dado ou informação geoespacial: aquela que se distingue essencialmente pela componente espacial, que associa a cada entidade ou fenômeno uma localização na Terra, traduzida por sistema geodésico de referência, em dado instantâneo ou período de tempo, podendo ser derivado, entre outras fontes, das tecnologias de levantamento, inclusive as associadas a sistemas globais de posicionamento apoiados por satélites, bem como de mapeamento ou de sensoriamento remoto;

A qualidade dos dados depende da sua quantidade, variedade, representatividade e consistência. Tradicionalmente, devem ser prospectadas cartas topográficas e mapas temáticos junto a órgãos públicos ou empresas de mapeamento, selecionados conforme área de interesse, escala e finalidade. O Decreto n. 89.817/1984 estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, incluindo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), visando estabelecer procedimentos de padronização, avaliação e produção de mapas (BRASIL, 1984).

Os procedimentos de geração, atualização, controle de qualidade e uso dos mapas sofreram profundas mudanças com os avanços tecnológico, demandando revisão nos conceitos referentes ao PEC. Apesar da exatidão ser de grande importância na avaliação da qualidade, deve existir também preocupação com atualização e adequação dos dados, incluindo detalhes sobre a origem das bases, além de medidas quantitativas da qualidade. Apesar da regulamentação existente, observa-se carência no país quanto ao controle de qualidade de documentos cartográficos, em especial nas administrações municipais (BORGES *et al.*, 2015; ROCHA, 2002; SANTOS *et al.*, 2010).

¹⁶ www.dados.gov.br/

¹⁷ www.inde.gov.br/geo-servicos

Para atender ao processo de implantação da INDE, foi adotado um novo padrão de qualidade - Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais - quando da elaboração da Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais, no âmbito da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (BRASIL, 2016; CELESTINO, 2014).

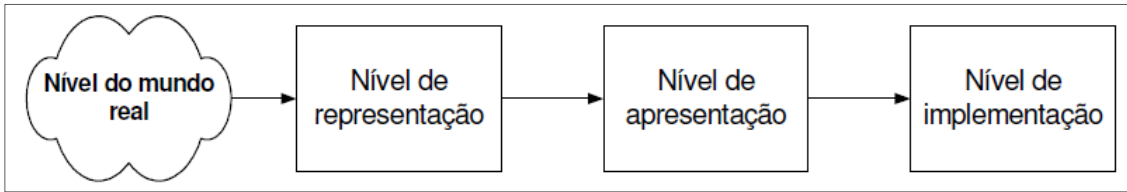
2.2.2 Banco de dados geográficos

Os bancos de dados geográficos (BDG) trabalham com dados espaciais, diferenciando-os dos bancos de dados tradicionais. O gerenciamento do banco de dados geográficos (ou espaciais) inclui procedimentos para obtenção, edição (manipulação), consulta (recuperação) e armazenagem de dados (alfanuméricos, vetoriais e matriciais), além de conversão, importação e exportação de arquivos (FITZ, 2008, p. 80–95). O objetivo inicial de um BDG é promover a organização dos dados, em especial considerando que se empregam vários arquivos em uma aplicação SIG.

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados, objetivando sistematizar o entendimento dos objetos e fenômenos que serão representados. Os objetos e fenômenos reais, no entanto, são complexos demais para permitir uma representação completa, sendo necessária uma abstração do mundo real, para obter uma representação simplificada, que seja adequada às finalidades requeridas (BORGES; DAVIS JÚNIOR; LAENDER, 2005, p. 83–84). São classificados de acordo com o nível de abstração empregado, sendo geralmente considerados quatro níveis, representados na Figura 5 e descritos a seguir (BORGES; DAVIS JÚNIOR; LAENDER, 2001, p. 223):

- nível do mundo real: contém os fenômenos geográficos reais a representar, como rios, ruas e cobertura vegetal;
- nível de representação conceitual: oferece um conjunto de conceitos para modelar as entidades geográficas da forma como são percebidas pelo usuário, com alto nível de abstração. São definidas as classes básicas, contínuas ou discretas, que serão criadas no banco de dados;
- nível de apresentação: oferece ferramentas para se especificar os diferentes aspectos visuais para aplicação das entidades geográficas; e
- nível de implementação: define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para cada representação, assim como os relacionamentos entre elas e as funções e métodos propostos.

Figura 5 - Níveis de abstração de aplicações geográficas

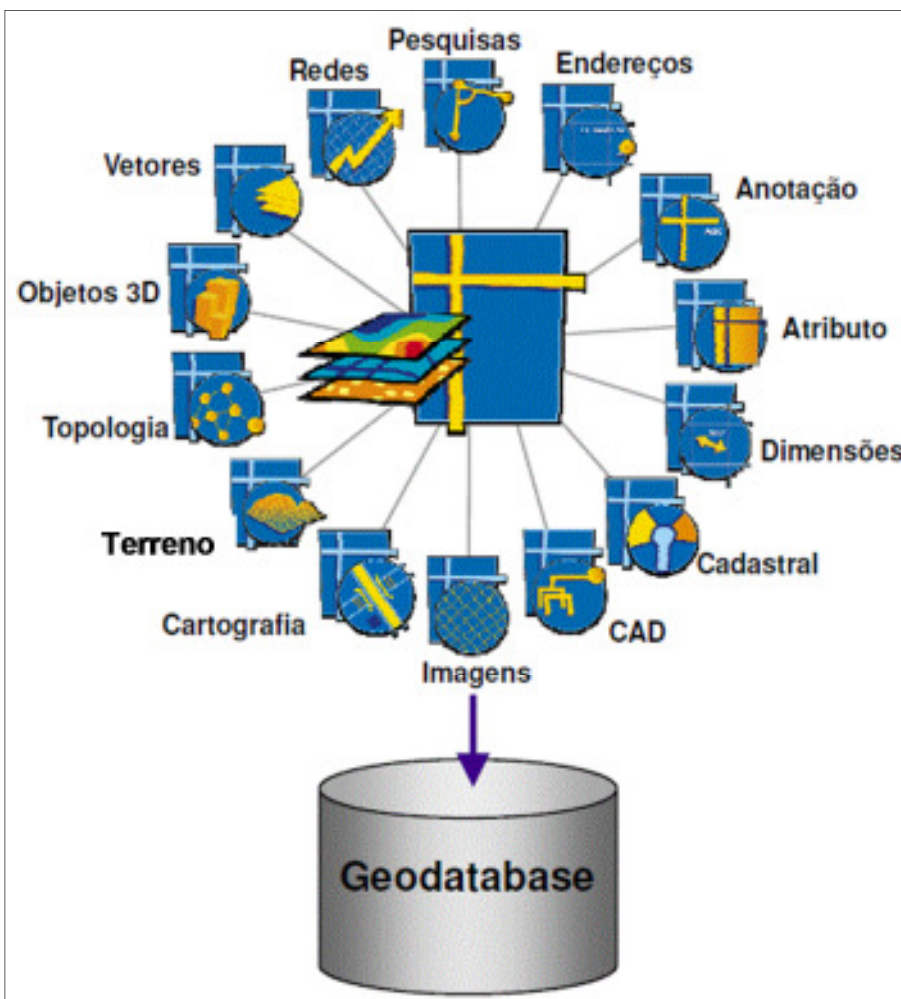


Fonte: Adaptado de Borges, Davis Júnior e Laender (2001, p. 224).

O documento cartográfico representa um fenômeno em escala reduzida. A informação do mapa sofre perdas e omissões, podendo-se afirmar que todo mapa foi generalizado para coincidir com critérios desejados. A generalização é um processo de transformação, que permite, com seleção criteriosa dos elementos, constituir um mapa mais adequado, claro e objetivo (VASCONCELOS, 2012, p. 1).

A viabilidade de abranger diversos dados descritivos vinculados às feições espaciais é uma das vantagens do BDG. Como exemplo, a Figura 6 ilustra a estrutura de um BDG (o formato *geodatabase* é um banco de dados geográficos da *Environmental Systems Research Institute* - ESRI).

Figura 6 - Desenho esquemático do *geodatabase*



Fonte: Serra (2014).

Quanto à integração de dados, Koontz (2003), mais de uma década atrás, posicionou-se sobre os desafios do compartilhamento de dados para incrementar o aproveitamento dos SIG nos Estados Unidos. Pontuou-se, entre outros, o desperdício de esforços na coleta duplicada de dados espaciais e as dificuldades práticas para estabelecimento de uma rede nacional.

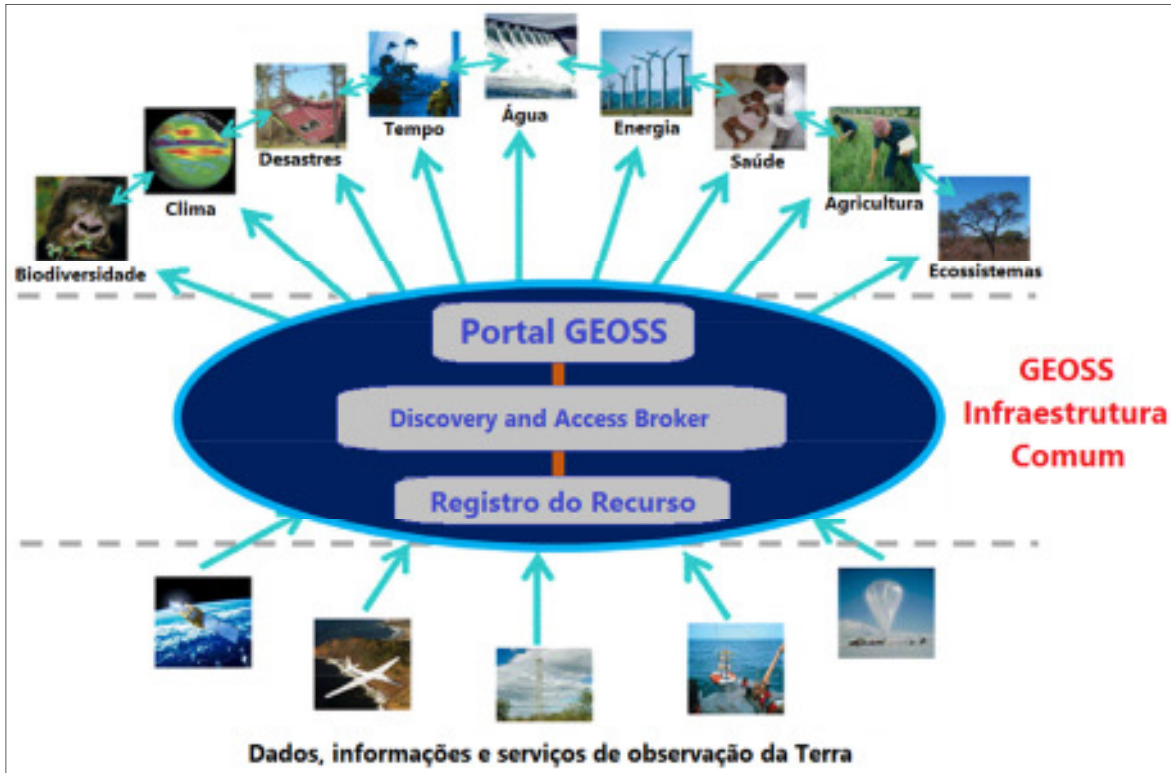
Inicialmente utilizavam-se conversores de dados para integração, ou seja, os arquivos de determinado fabricante de SIG eram convertidos para outro formato. Na sequência, surgiram os formatos padrão, a exemplo do *ShapeFile*, que facilitaram o intercâmbio, mas ainda não possibilitavam a interação entre os SIG propriamente. Os SIG vêm incorporando novos paradigmas para facilitar a integração, a exemplo da migração dos dados armazenados em arquivos para banco de dados espaciais.

A dificuldade para integração de bancos de dados ocorre pois muitos foram criados sem a perspectiva de posterior comunicação (COSTA, 2012, p. 35; MELO JÚNIOR; CANDEIAS; TAVARES JÚNIOR, 2010). Como exemplo prático, menciona-se a iniciativa do MMA para implantação do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental. O Portal visa atender demanda da Lei n. 10.650/2003, que dispõe sobre o acesso público aos dados e informações ambientais dos órgãos e entidades do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Sua implantação foi iniciada em 2005 e, conforme consulta em 15/12/2014, a integração ainda havia sido totalmente concluída (MMA, 2014a, 2014b).

O termo interoperabilidade tem seu significado relacionado a sistemas abertos, capacidade de intercâmbio de dados, compartilhamento de aplicações e uniformidade na interface com os usuários. Melo Júnior, Candeias e Tavares Júnior (2010) ressaltaram que a relevância do compartilhamento de dados entre os SIG motivou a comunidade científica a propor novas tecnologias, destacando-se a denominada de Serviços Web. Essa tecnologia provê um paradigma que facilita a construção de SIG interoperáveis. Por meio de experimento, os autores comprovaram que essa tecnologia é viável, mesmo em ambientes heterogêneos, para integrar aplicativos na internet.

Nativi *et al.* (2015) apontaram desafios na construção de uma rede global e flexível com disponibilização de vários dados multidisciplinares, especialmente sobre medições da atmosfera, oceanos, terra, variáveis relacionadas ao ciclo do carbono, biodiversidade. O *Group of Earth Observation*, responsável pelas ações, foi criado em 2002, durante a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo. O grupo é o responsável pela criação do *Global Earth Observation System of Systems* (GEOSS), com período de implementação inicialmente previsto para 2005 até 2015. Objetiva-se beneficiar nove áreas - desastres, saúde, energia, clima, água, clima, ecossistemas, agricultura e biodiversidade -, conforme esquema ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Áreas beneficiadas com o GEOSS



Fonte: Adaptado de Nativi *et al.* (2015, p. 3).

Sua concepção é que o sistema integre sistemas independentes e autônomos (“*System of Systems*”). A interconexão deve ocorrer de forma que não afete as capacidades de cada sistema individualmente. Além dos desafios inerentes à criação de uma plataforma global e flexível, os autores relataram desafios relacionados a *Big Data*. Alterações radicais na arquitetura de dados do GEOSS são requeridas, em especial quanto à tecnologia de computação em nuvem (*cloud computing*)¹⁸ e para considerar volume, velocidade, variedade, veracidade e visualização de *Big Data*. Em consulta ao site www.earthobservations.org, em 18/3/2016, observou-se que o GEOSS estava em implantação.

A computação em nuvem possibilita combinar dados de vários servidores e distribuir dados espaciais processados em uma plataforma comum. Isso possibilita combinar os serviços apropriados buscando produzir soluções específicas (EVANGELIDIS *et al.*, 2014).

Os desafios e oportunidades relacionados a *Big Data* mostram-se cada vez mais presentes no dia-dia, inclusive quanto aos dados espaciais. Lee e Kang (2015) apresentaram alguns estudos relacionados a *Big Data* geoespacial, com exemplos de benefícios em várias áreas, como redução no consumo de combustível e tempo de deslocamento nas cidades, incremento no faturamento das empresas,

¹⁸ O conceito de computação em nuvem relaciona-se a um modelo de computação que distribui tarefas em um *pool* de recursos, utilizando memória, capacidade de armazenamento e processamento de computadores e servidores compartilhados e interligados por meio da internet.

planejamento urbano e cuidados médicos. Os autores destacaram ainda o potencial para análises iterativas com dados em tempo real e dinâmicos, considerando a velocidade de geração de novos dados espaciais. Destaques semelhantes foram apontados também por Nativi *et al.* (2015).

2.2.3 Análises espaciais

As análises espaciais caracterizam-se como um conjunto de métodos cujos resultados mudam quando a localização dos objetos é alterada. Os métodos podem ser complexos, mas também simples, variando desde a aplicação de sofisticados artifícios matemáticos até simples análises visuais (LONGLLEY *et al.*, 2013, p. 352 e 353). O conjunto de métodos e ferramentas é também chamado de análises geoespaciais (SMITH; GOODCHILD; LONGLLEY, 2015).

O conceito inclui todas as transformações, manipulações e métodos que podem ser aplicados aos dados georreferenciados para agregar informação e auxiliar o processo de tomada de decisão, revelando fenômenos e padrões imperceptíveis à primeira vista. Transformam-se dados brutos em informações e conhecimento.

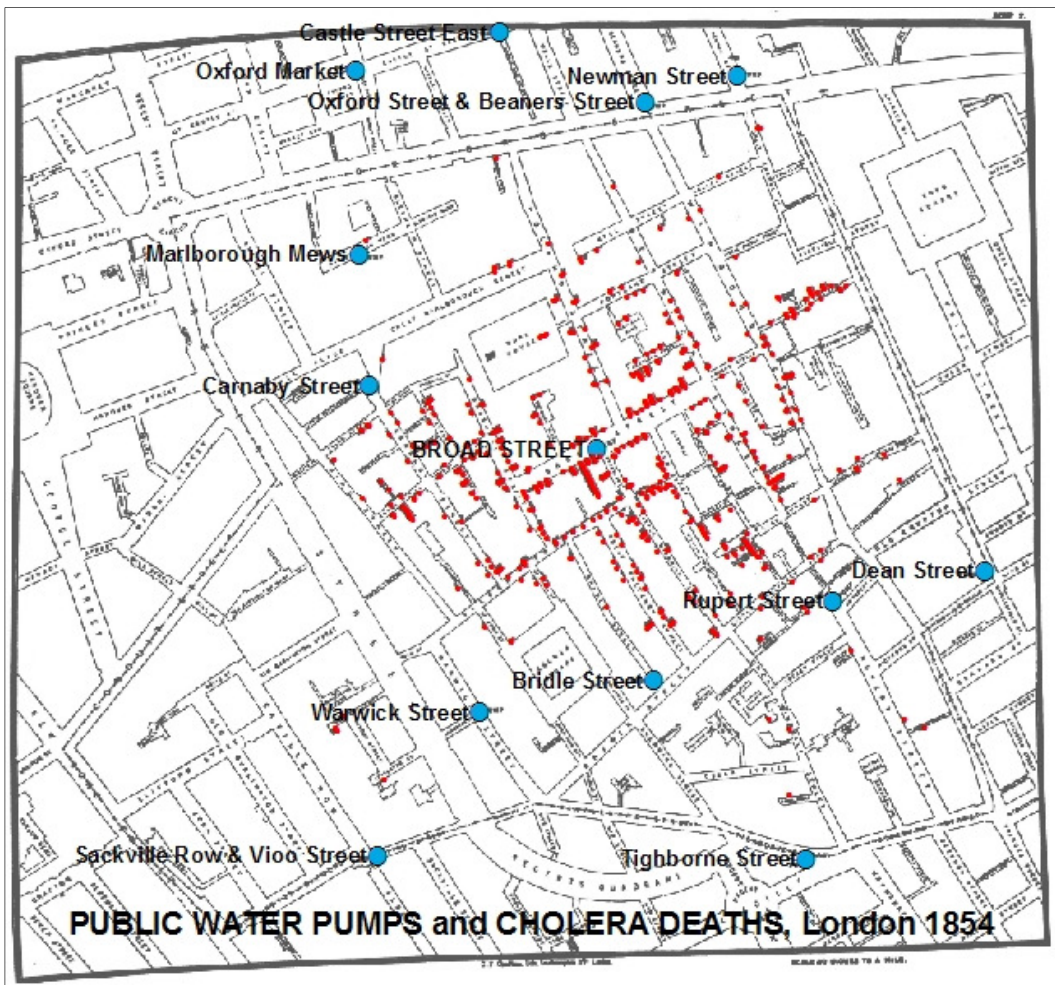
A ênfase desse tipo de estudo consiste em mensurar propriedades e relacionamentos considerando a localização espacial do fenômeno de forma explícita, incorporando o espaço à análise. Além da percepção visual da distribuição espacial do problema, permite-se traduzi-lo também em padrões objetivos e mensuráveis. A seguir apontam-se alguns exemplos (CÂMARA *et al.*, 2004, p. 1 e 2):

- Epidemiologistas coletam dados sobre ocorrências de doenças: a distribuição dos casos forma um padrão no espaço? Existem associação com alguma fonte de poluição? Há evidências de contágio? Houve variação no tempo?
- Deseja-se investigar a existência de alguma concentração espacial na distribuição de roubos: há correlação entre os roubos que ocorrem em determinadas áreas e características socioeconômicas?
- Deseja-se analisar uma região para fins de zoneamento agrícola: como escolher as variáveis explicativas (solo, vegetação etc.) e determinar qual a contribuição de cada uma delas para definir em que local o tipo de cultura é mais adequado?

Um caso pioneiro refere-se ao trabalho do Dr. John Snow quanto a um surto de cólera em Londres na metade do século XIX. O paradigma da época era a teoria do miasma, que apontava o ar “sujo e contaminado” como grande transmissor de doenças. A teoria da transmissão da cólera pela água foi formulada e comprovada com base em vários estudos. Dr. Snow elaborou um mapa com a localização das mortes ocorridas em um surto de cólera em Soho, Londres, Inglaterra, em 1854. O mapa foi feito para fundamentar a hipótese de que a cólera era transmitida ao se beber água poluída, e não por meio

do ar, como se pensava. O surto parecia estar centralizado em torno de um poço na *Broad Street*, conforme se verifica na Figura 8 (em azul: os poços; em vermelho: as mortes). Com base em levantamentos de campo e dados estatísticos, o médico e cientista conseguiu convencer autoridades locais a remover a alavanca da bomba, e o surto arrefeceu, oferecendo uma evidência direta para comprovar a hipótese. A aceitação efetiva da teoria, no entanto, levou algumas décadas (JOHNSON, 2008; MACKENZIE, 2010).

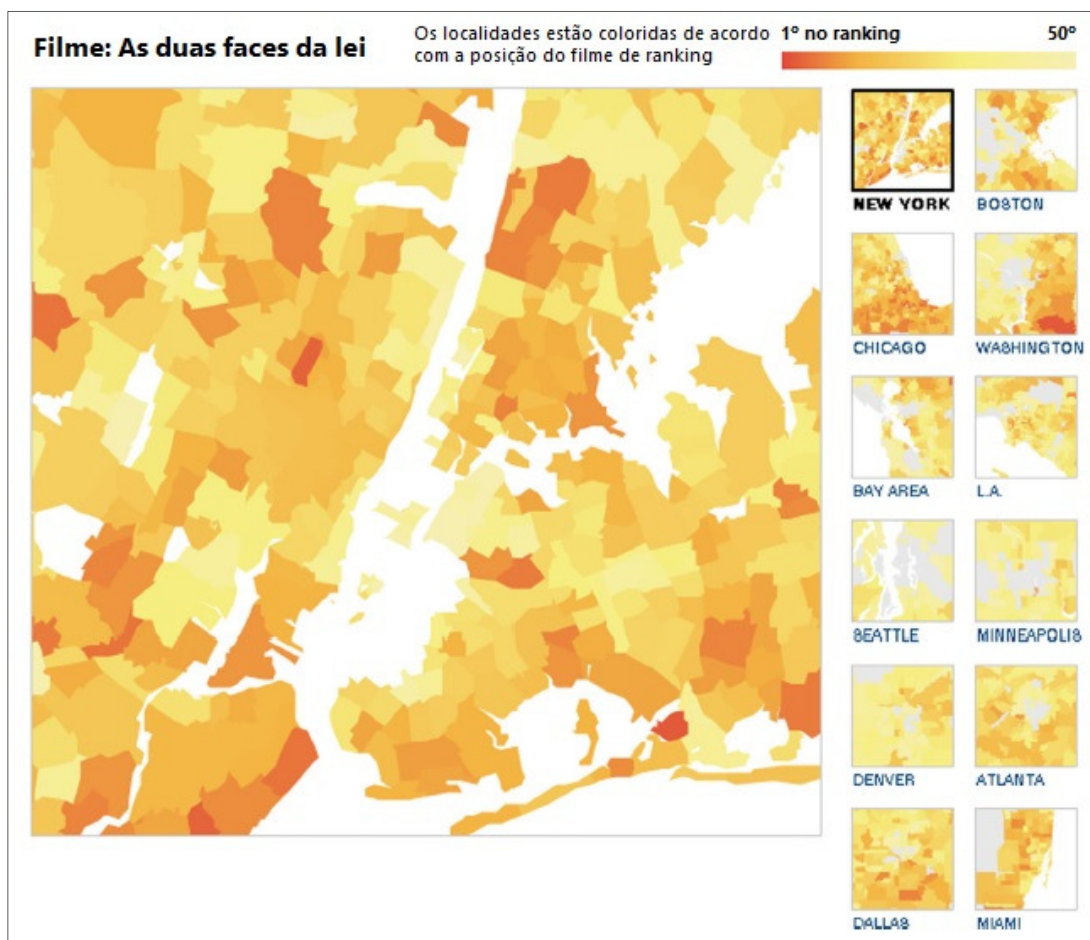
Figura 8 - Redesenho do mapa de parte de Londres feito pelo Dr. John Snow em 1854, com localização de poços de água (em azul) e de mortes por cólera (em vermelho)



Fonte: Mackenzie (2010).

Lee e Kang (2015, p. 75 e 76) destacaram o poder da localização para várias aplicações. Como exemplo, os autores destacaram um estudo elaborado pela *Netflix* sobre os filmes mais assistidos, discriminados por CEP. A *Netflix* gerou mapas com os 50 filmes mais locados em determinado ano para cada localização. Os títulos foram listados na ordem aproximada de popularidade para cada local das regiões metropolitanas pesquisadas. A identificação de padrões como esses pode ser útil para recomendar filmes aos usuários. A Figura 9 contempla um mapa ilustrando o comportamento de localidades da região metropolitana de Nova Iorque com relação a um filme específico.

Figura 9 - Distribuição espacial dos filmes mais assistidos na *Netflix* em Nova Iorque



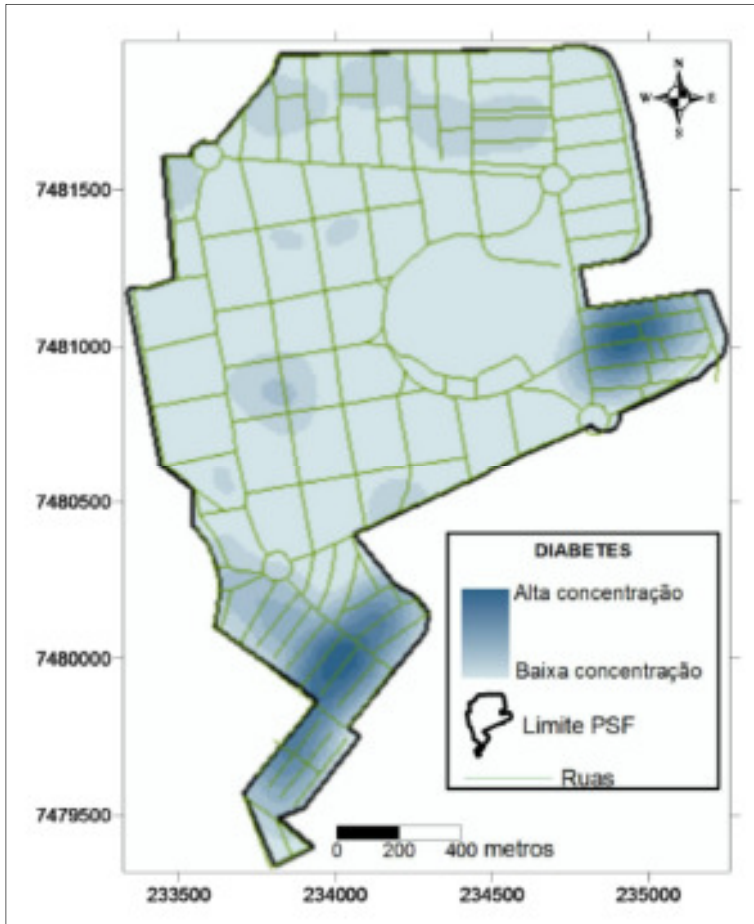
Fonte: Adaptado de Bloch *et al.* (2010).

Quando da elaboração de mapas, existem vários artifícios para auxiliar na identificação de padrões espaciais, a exemplo dos interpoladores de densidade simples e de kernel¹⁹. Essas funções são amplamente utilizadas e realizam uma contagem de pontos dentro de uma área com raio de influência predefinido. Na interpolação simples, os valores de cada pixel são calculados dividindo o número de pontos dentro da área predefinida, enquanto que na de kernel, aplica-se uma função matemática com valor um na posição do ponto e zero na fronteira de vizinhança, portanto, suavizando mais a distribuição (CÂMARA; CARVALHO, 2004, p. 5 e 6; ESRI, 2012).

Fonseca (2011) aplicou SIG para mapeamento das áreas e populações com predisposição a riscos de saúde, objetivando obter subsídios ao planejamento e às ações efetivas no Programa Saúde da Família. O autor utilizou, essencialmente, interpoladores de kernel para produzir mapas da distribuição espacial de doenças. O mapa da Figura 10, por exemplo, permitiu identificar as áreas com maior concentração de pacientes com doenças cardiovasculares.

¹⁹ A palavra kernel significa “núcleo” ou “centro” em português.

Figura 10 - Distribuição espacial das famílias com registro de doenças cardiovasculares



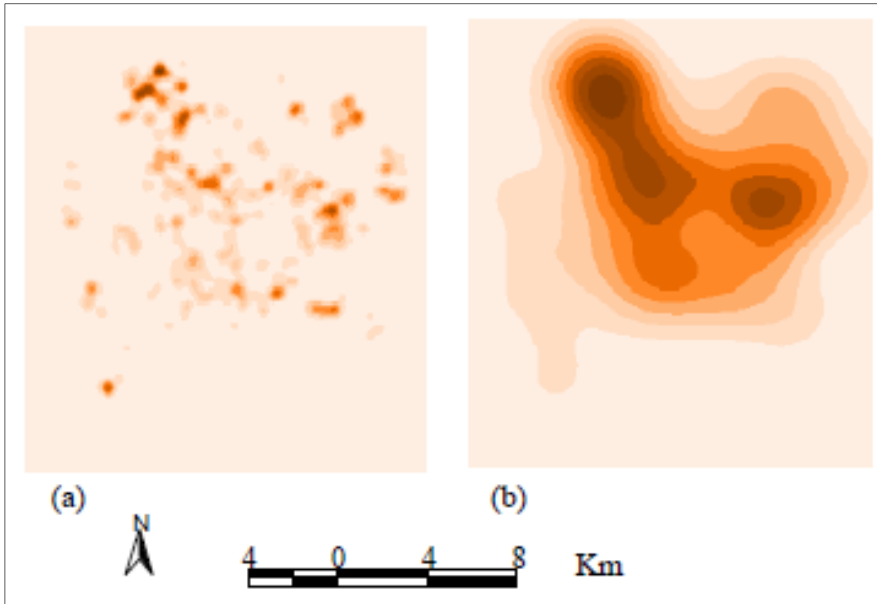
Fonte: Fonseca (2011, p. 89).

O autor identificou onde as doenças estavam mais concentradas e que essas áreas coincidiam com locais de residência da população mais idosa e de menor poder aquisitivo. O SIG possibilitou fácil identificação e compreensão das áreas geográficas com maior ocorrência de problemas, sendo também útil como ferramenta para planejamento, execução e monitoramento dos programas de saúde, permitindo análise da distribuição das doenças e suas associações com variáveis ambientais.

Um dos pontos relevantes a serem definidos quando da aplicação de interpoladores de kernel consiste na definição do raio de influência. O raio interfere diretamente na estimativa da densidade dos eventos e sua definição depende de cada caso. Quando se objetiva analisar áreas mais específicas e de menor abrangência para atuação, devem ser utilizados raios menores, porém essa abordagem pode gerar áreas múltiplas e pulverizadas. Quando o objetivo é identificar áreas mais abrangentes, adotam-se raios maiores. Em regra, diferentes valores devem ser experimentados, gerando variações até encontrar o padrão que se adapte ao caso concreto. A definição da função de ajuste, por sua vez, não é tão importante (BARBOSA WANDERLEY, 2013, p. 44; KUTER; USUL; KUTER, 2011, p. 3036; LOPEZ-NOVOA *et al.*, 2015, p. 128; MENG, 2015, p. 201).

A Figura 11 ilustra a diferença entre resultados obtidos para dois raios diferentes. O raio de influência mais amplo gera maior alisamento, com superfícies mais homogêneas (Figura 11b), enquanto que o raio com valor pequeno gera um número maior de aglomerações (Figura 11a).

Figura 11 - Comparação de superfícies de densidades de kernel para dois raios distintos



Fonte: Silva (2004, p. 30).

A compreensão da distribuição espacial dos dados contribui para esclarecimento de questões centrais em áreas como saúde, ecologia e geologia. Estudos dessa natureza são cada vez mais comuns por conta da disponibilidade de SIG de baixo custo e interfaces amigáveis, permitindo visualização em mapas de variáveis como população de indivíduos e índices de qualidade de vida. Dispondo de um banco dados e de uma base geográfica, como um mapa de municípios, produzem-se facilmente mapas coloridos, permitindo a identificação de padrões espaciais (CÂMARA *et al.*, 2004, p. 1).

Um *software* para SIG contempla ferramentas para representar as informações decorrentes das análises realizadas. Além do uso analítico há relativa facilidade na produção de mapas, gráficos, tabelas e relatórios. Os mapas são um dos carros-chefes dos SIG e podem desempenhar papel fundamental em análises ecológicas, sociais e econômicas. É nesta fase que os resultados do custoso trabalho de coleta e edição dos dados aparecem. É uma forma mais fácil de comunicação dos resultados, além de permitir a visualização de determinados comportamentos que dificilmente seriam percebidos apenas com gráficos e tabelas.

Existem várias técnicas para mapeamento, que deverão ser usadas a depender dos objetivos pretendidos. Citam-se, como exemplos, técnicas para (MITCHELL, 1999, 2009):

- identificar locais com maior ou menor ocorrência de determinado fenômeno;
- perceber alterações ocorridas ao longo do tempo ou do espaço;

- observar distribuições geográficas; e
- analisar relações geográficas entre diferentes fenômenos.

Em que pese a indiscutível relevância, existem limitações quanto aos mapas, a exemplo de (LONGLEY *et al.*, 2013, p. 302):

- podem distorcer ou ocultar informações, a depender da forma de estruturação;
- tratam de uma única realização, portanto, sob uma percepção estatística, cada mapa representa o resultado de um ensaio amostral; e
- são criados, frequentemente, com base em complexas simbologias, resultando em produtos de difícil compreensão para usuários menos experientes.

Para maximizar os benefícios dos mapas, e diminuir suas limitações, existem técnicas e princípios específicos, aumentando a importância do planejamento antes de iniciar-se a produção dos mapas propriamente. Cuidados especiais são requeridos quanto aos dados a serem representados, escala, condições de uso do mapa, limites técnicos, público-alvo, sistema projeção cartográfica, meta-dados, simbologia etc. (LONGLEY *et al.*, 2013, p. 306–314).

A etapa de elaboração de mapas é fundamental nas análises espaciais e a combinação de mapas com resultados de operações matemáticas deve ser o padrão a ser perseguido (GATRELL; BAILEY, 1996, p. 843–845; LONGLEY *et al.*, 2013, p. 352; MITCHELL, 1999, p. v).

As potencialidades das análises espaciais relacionam-se ao fato de permitir realizar, simultaneamente, análises de dados espaciais e seus atributos alfanuméricos. Entre suas subdivisões, destacam-se as análises de sobreposição, vizinhança e contextualização geoestatística (FITZ, 2008, p. 86–92). A sobreposição pode ser dividida em lógica e aritmética. A lógica envolve operadores lógicos (análise booleana; teoria dos conjuntos). Os principais operadores são: <AND> - “e”, significando intersecção; <OR> - “ou”, união; <XOR> exclusão do “ou”, desunião; e <NOT> - “não”, no sentido de negação. A sobreposição aritmética refere-se à utilização de operadores matemáticos (adição, subtração, multiplicação etc.), sendo mais comum para arquivos matriciais. As análises de vizinhança e contextualização referem-se à exploração das características do entorno da área geográfica em estudo. Incluem-se operadores de distância, interpolação de pontos, análises de proximidade, cálculos de volume etc. A aplicação de interpoladores de densidade é um exemplo desse tipo de análise, em que é possível identificar ocorrências de aglomerações.

As análises espaciais são compostas de um conjunto de procedimentos encadeados com a finalidade de adoção de um modelo que considere explicitamente os relacionamentos espaciais (CÂMARA *et al.*, 2004, p. 4-5 e 11-14). Em geral, é precedida por uma fase de análise exploratória, com análises

visuais dos mapas e identificação de padrões de dependência. Para entidades representadas por pontos, por exemplo, objetiva-se estudar se o padrão de distribuição dos pontos é aleatório ou, ao contrário, apresenta-se em aglomerados ou dispersos. Alguns conceitos-chaves são:

- dependência espacial: a maior parte das ocorrências, sejam naturais ou sociais, apresentam entre si uma relação que depende da distância;
- autocorrelação espacial: é um termo derivado do conceito estatístico de correlação, que busca mensurar o relacionamento entre duas variáveis aleatórias. A preposição “auto” indica que a medida de correlação é realizada com a mesma variável, medida em locais distintos do espaço. Para medir a autocorrelação espacial verifica-se como varia a dependência espacial a partir da comparação entre valores de uma amostra e de seus vizinhos. Valores significativos de índices de autocorrelação espacial indicam que não há independência entre as amostras, portanto, os modelos inferenciais devem considerar explicitamente o espaço nas suas formulações; e
- inferência estatística para dados espaciais: uma consequência da dependência espacial é que as inferências estatísticas serão menos eficientes quanto no caso de amostras independentes. Ou seja, pode haver perda do poder explicativo, refletindo em maiores variâncias nas estimativas e menores níveis de significância em testes de hipóteses, com prejuízo nos ajustes dos modelos estimados. Uma perspectiva a ser considerada é que os dados espaciais não sejam considerados como um conjunto de amostras independentes, mas como realização de um processo estocástico. Sendo assim, todas as observações são utilizadas de forma conjunta para descrever o padrão espacial do fenômeno estudado.

Entre as ferramentas de estatística espacial, caracterizadas por considerar explicitamente a localização das entidades como variável, destacam-se as análises relacionadas à identificação de padrões de espacialização, correlações e regressões espaciais.

Rocha (2012) analisou a associação espacial entre mortalidade infantil e precipitação pluviométrica em Pernambuco. A autora concluiu, entre outros, que a variabilidade espaço-temporal da chuva pode ser um fator de risco para a mortalidade. No entanto, ressaltou que as condições precárias de saneamento, assim como indicadores de vulnerabilidade socioeconômica, podem também ter contribuído com as taxas de mortalidade infantil.

Keser, Duzgun e Aksoy (2012) estudaram a influência da dependência espacial na relação entre geração de resíduos sólidos e variáveis explicativas de aspectos socioeconômicos e climáticos. Aplicou-se regressão espacial e não espacial e compararam-se os resultados, indicando melhor correlação quando a distribuição espacial foi considerada.

As funções de um SIG refletem as diversas possibilidades de aplicação, desde simples conversão e armazenamento de dados até um contexto integrado para auxílio ao planejamento, execução e controle de projetos. Constituem-se como poderosa ferramenta de apoio à tomada de decisão e controle com várias funções a depender de cada caso concreto.

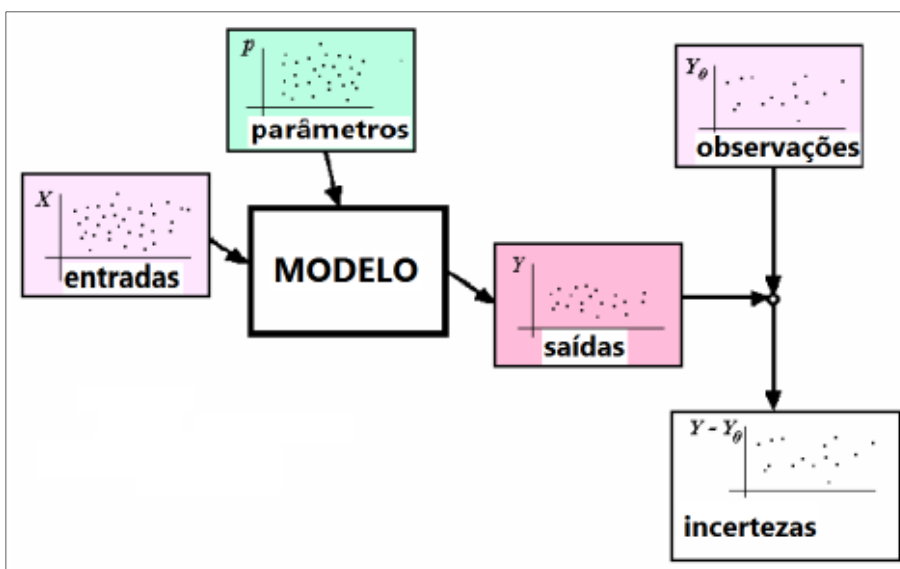
2.2.4 Aplicações na gestão ambiental e de recursos hídricos

Apontam-se pelo menos quatro grandes dimensões dos estudos ambientais em que é grande o impacto do uso das geotecnologias: mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental e prognósticos ambientais (MEDEIROS; CÂMARA, 2001, p. 1).

Paes, Candeias e Sobral (2010) ressaltaram a complexidade envolvida na gestão de reservatórios, com análise integrada de diversos dados, como qualidade da água, uso e ocupação do solo. O SIG desenvolvido possibilitou emissão de relatórios e elaboração de mapas temáticos para apoio à tomada de decisão. Planos e projetos com influência no reservatório, outorgas, licenças ambientais, imagens aerofotogramétricas e de satélite são exemplos de informações constantes do sistema (PAES, 2012).

Benedini (2011) destacou a relevância dos modelos matemáticos para gestão dos recursos hídricos, particularmente para avaliação da qualidade das águas dos rios, incluindo a utilização de SIG na modelagem. Para ilustrar a aplicação de modelos matemáticos e a estimativa das suas incertezas, o autor apresentou a Figura 12, destacando a relevância de procedimentos para testes e validação.

Figura 12 - Fontes de incertezas nos modelos matemáticos.



Fonte: Adaptado de Benedini (2011, p. 38).

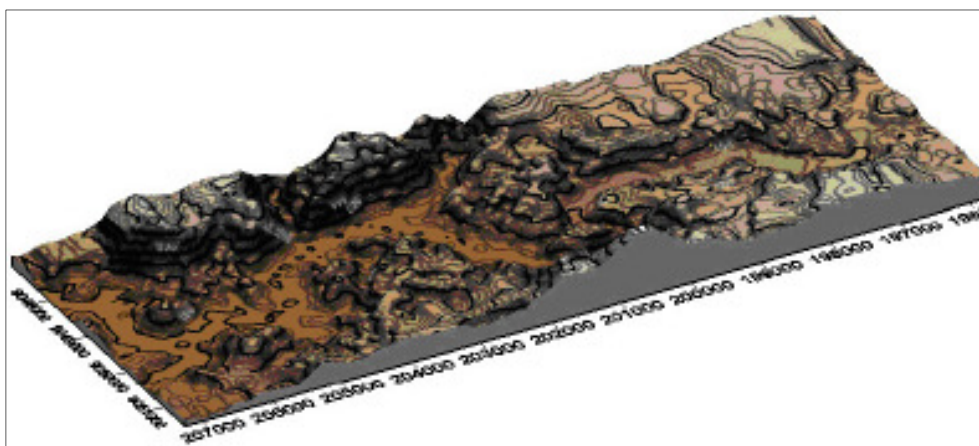
Souza Júnior *et al.* (2013) desenvolveram um atlas eletrônico analítico para geração de mapas interativos em Pernambuco, fornecendo também tabelas, gráficos, relatórios etc. Perguntas como as

descritas a seguir foram apontadas como opções para auxiliar à tomada de decisão dos gestores: quais são as estruturas hídricas existentes na região? Quais os postos hidrológicos existentes em uma determinada bacia hidrográfica e em determinado município? Quais as barragens existentes em determinada bacia? Existem, em um dado município, outras fontes para abastecimento humano?

Fan, Collischonn e Rigo (2013) construíram um modelo para simulação da qualidade da água acoplado com SIG para representação de impactos causados por lançamentos de poluentes, permitindo uma visão de toda a bacia hidrográfica. O modelo pode ser especialmente útil nos casos em que não se sabe ao certo onde vão ocorrer os despejos de efluentes.

Cavalcanti, Tavares Júnior e Candeias (2013) mapearam os riscos de inundação ao longo de uma bacia hidrográfica, valendo-se de modelo numérico do terreno, imagens *RapidEye*, setores censitários do IBGE e álgebra de mapas. Os autores apontaram algumas limitações da análise, tal como critério da distribuição uniforme da população, gerando imprecisão. A visualização 3D da área estudada consta da Figura 13.

Figura 13 - Visualização 3D com curvas de nível com equidistância de 10m



Fonte: Cavalcanti, Tavares Júnior e Candeias (2013, p. 708).

Delipetrev, Jonoski e Solomatine (2014) desenvolveram um protótipo de aplicativo-*web* colaborativo e com dados interoperáveis, com três objetivos principais: gestão de dados espaciais; suporte a modelos para recursos hídricos; e otimização de recursos hídricos. Quanto aos dados, foram incluídos vetores referentes a rios, canais, usuários, agricultura, reservatórios etc., além de séries históricas. Quanto aos modelos, a plataforma tem acesso aos dados armazenados e permite ao usuário acrescentar e editar dados. Quanto à otimização, essa funcionalidade refere-se apenas à operação otimizada de um reservatório específico. Os autores ressaltaram ainda que, apesar das vantagens referentes às plataformas-*web* serem reconhecidas, isso ainda não se reflete na prática. Entre os motivos, tem-se a conveniência para os consumidores utilizarem as plataformas tradicionais e o fato

delas serem também mais lucrativas para os fabricantes, além de que as contínuas e rápidas mudanças nas tecnologias *web* podem dificultar sua padronização e desencorajar investimentos.

Ainda quanto às plataformas colaborativas, acrescenta-se que há uma tendência no Brasil de maior abertura de dados, trazendo mais transparência às ações governamentais (FREITAS; DACORSO, 2014, p. 885; TCU, 2014b). No âmbito do controle social, um importante marco foi a promulgação da Lei de Acesso à Informação (Lei n. 12.527/2011). Essa lei apresenta-se como uma quebra de paradigma, porque o acesso às informações passou a ser tratado como regra e o sigilo como exceção. As solicitações de informações pelos cidadãos prescindem de motivação e o artigo 1º da lei estabelece que o regulamento é válido para todos os órgãos públicos, incluindo a administração direta e indireta, das esferas federal, estadual e municipal (BRASIL, 2011).

São vários os casos da utilização de SIG na gestão ambiental e de recursos hídricos. A ANA e a Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba, por exemplo, disponibilizam na internet o HidroWeb e GeoPortal, respectivamente, com disponibilização de dados para o Brasil e para a Paraíba - <http://hidroweb.ana.gov.br> e <http://geo.aesa.pb.gov.br/>. O usuário pode navegar diversos níveis de informação. Os mapas são dotados de escalas geográficas que podem ser alteradas, barra de ferramentas e suas camadas geográficas, contendo diferentes informações. O mesmo se observa no contexto internacional, como é o caso de www.cuahsi.org e www.earthobservations.org, sendo o primeiro mais centrado na América do Norte e o segundo em um contexto mais global (DELIPETREV; JONOSKI; SOLOMATINE, 2014, p. 35; NATIVI *et al.*, 2015, p. 85).

A disponibilização das informações na internet é mais um estímulo ao controle social. A adaptação dos SIG à internet permite maior difusão da tecnologia, tal como mencionado por Medeiros *et al.* (2013), em aplicação no âmbito do Poder Executivo. Os autores construíram o “SIG Web Ceará em Mapas Interativo” para disponibilizar dados socioeconômicos e cartográficos para a sociedade e subsidiar gestores públicos, envolvendo imagens de satélite, limites municipais, meio ambiente, recursos hídricos, equipamentos públicos, altimetria e indicadores socioeconômicos.

Duba e Di Maio (2014) evidenciaram os mapas participativos para promoção da cidadania no conceito da Cartografia Social. Os autores criaram um *web map*, chamado de “Mapa Solidário”, para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, permitindo participação dos internautas na sua construção, tornando acessível um mapa participativo contendo banco de dados sobre projetos culturais, educacionais e esportivos, podendo ser atualizado pelos usuários.

Quanto a ações de controle da gestão ambiental, o Tribunal de Contas da Noruega apresentou exemplo de aplicação em auditoria sobre as ações governamentais para prevenção de inundações e

desmoronamentos, por meio da análise de mapas de riscos e quantificação das construções nas áreas vulneráveis (NORWAY, 2010).

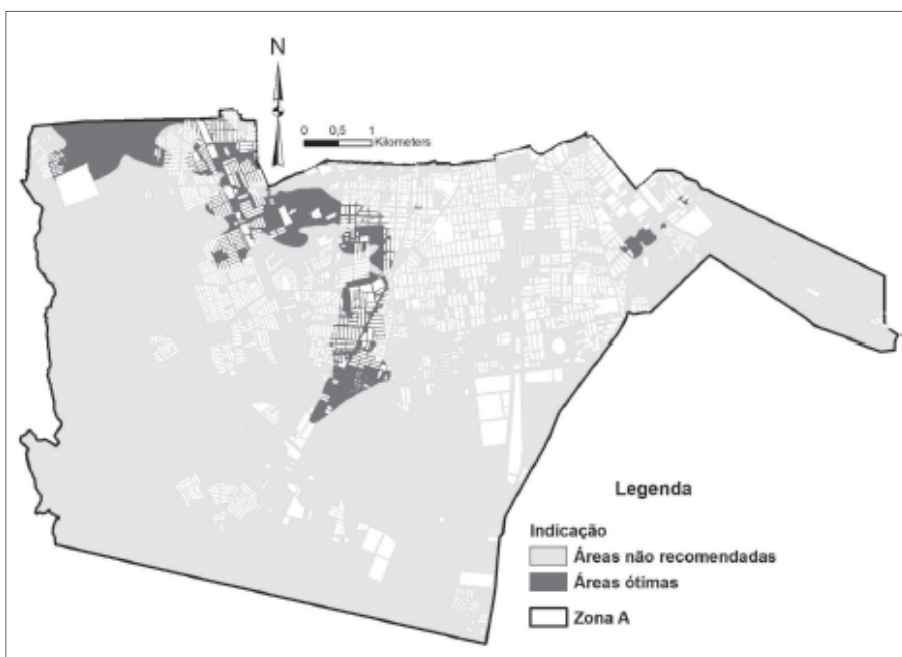
Musa (2012) relatou aplicações de GNSS, sensoriamento remoto e SIG em auditorias ambientais realizadas na Indonésia, como auxílio na identificação de áreas desmatadas e queimadas, localização dos pontos de coleta de amostras e na elaboração dos relatórios.

Freire e Castro (2014) investigaram a correlação entre uso e ocupação do solo e qualidade da água em várias sub-bacias hidrográficas no Espírito Santo, empregando sensoriamento remoto e SIG com aplicação de geostatística para avaliar correlações. Os resultados indicaram correlação entre as atividades humanas sobre o solo e degradação da qualidade da água.

Souza *et al.* (2014), em estudo abrangendo a cidade de Recife-PE, identificaram as áreas mais vulneráveis a desastres decorrentes de chuva, considerando aspectos como número de óbitos, densidade demográfica, renda *per capita*, população, condições de habitabilidade e índice de desenvolvimento humano. Características fisiográficas da área não foram consideradas diretamente.

Quanto a análises multicritério, Cordão, Rufino e Araújo (2013) utilizaram-se de SIG como sistema de apoio a decisão espacial no planejamento da disposição reservatórios de água para abastecimento público. Foram gerados mapas de riscos de desabastecimento em lotes urbanos e mapeadas zonas consideradas como ótimas para novas unidades. A área onde devem ser instaladas novas unidades em determinada zona estudada (zona A) é apresentada na Figura 14.

Figura 14 - Indicação de áreas para disposição de novos reservatórios de água.



Fonte: Cordão, Rufino e Araújo (2013, p. 273).

O monitoramento via satélite vem sendo utilizado com frequência em escala global para a área ambiental. O *Joint Research Centre*, da Comissão Europeia, desenvolveu uma metodologia para monitorar a cobertura florestal entre os trópicos na América Latina, Sudeste Asiático e África, com imagens *Landsat Thematic Mapper* e *Enhanced Thematic Mapper*. As imagens foram selecionadas, pré-processadas, segmentadas e classificadas em cinco diferentes classes de cobertura da terra para a construção de estatísticas globais e regionais sobre a mudança da cobertura florestal tropical (BEUCHLE *et al.*, 2011; RAŠI *et al.*, 2011).

Suarez e Candeias (2014) avaliaram a dinâmica do desmatamento e seus impactos na Mata Atlântica em Pernambuco, com base em imagens de satélite ao longo de três décadas, identificando as principais variáveis explicativas do fenômeno do desmatamento para a área estudada. Os autores concluíram que o desmatamento foi intensificado junto a manchas urbanas e a desmatamentos pré-existent, e foram repelidos em áreas com maiores declividades.

Lopes *et al.* (2015) empregaram imagens *Landsat-TM* para monitorar e quantificar a concentração de clorofila-a no reservatório de Itaparica, no rio São Francisco. Os autores concluíram pela aplicabilidade do modelo para análises espaciais não pontuais e multitemporais, permitindo visualizar a distribuição da concentração por determinados períodos.

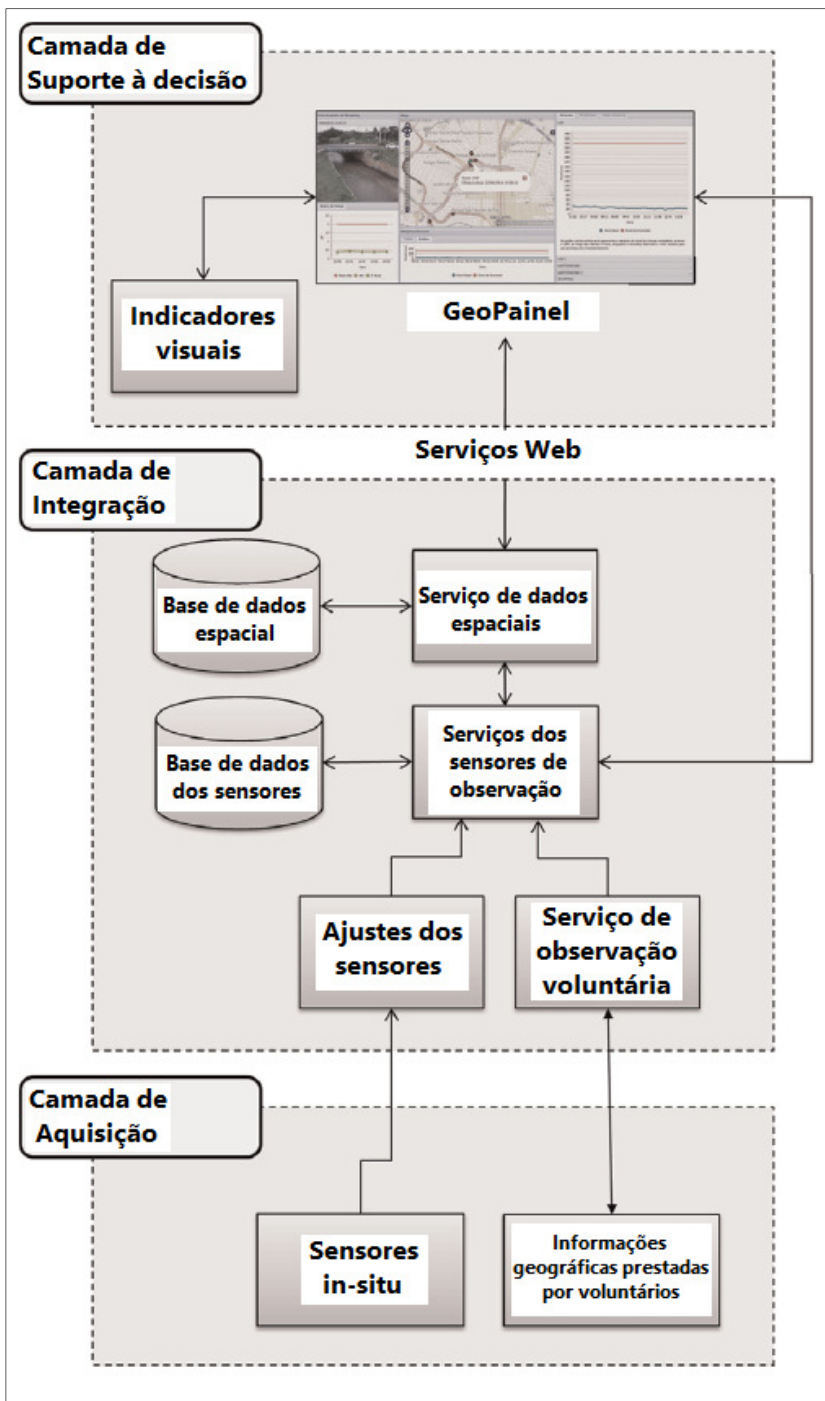
Ribeiro Neto *et al.* (2015) integraram modelos matemáticos em um sistema de suporte à decisão para previsão e alerta de cheias na bacia hidrográfica do rio Una-PE. Os autores utilizaram modelo digital do terreno com resolução espacial de 0,5 m, precisão batimétrica de 15 cm e modelagem hidrológica-hidrodinâmica para simular o escoamento na bacia. De posse da previsão de chuva na bacia, determinam-se vazão, nível da água e áreas atingidas nas cidades localizadas às margens do rio estudado, permitindo a mobilização com antecedência para assistência à população. É também uma alternativa para avaliar ações para redução de impactos das cheias.

Considerando as vantagens de informações atualizadas para gestão de riscos de enchentes, Horita *et al.* (2015) procuraram integrar diversas fontes, com destaque para rede de sensores sem fio (*wireless sensor network*) e informações voluntárias²⁰ prestadas por cidadãos moradores de áreas de alto-risco. Os autores desenvolveram um sistema de suporte à tomada de decisão espacial, intitulado AGORA-DS, que integrou bases de dados e apresentou resultados unificados. Apontaram-se, também, evidências da possibilidade de utilizar os dados encaminhados pelos cidadãos de maneira estatisticamente equivalente aos adquiridos por sensores, desde que recebam o tratamento adequado.

²⁰ O conceito de informações voluntárias faz referência à participação de usuários, pessoais físicas, na montagem, criação e divulgação de informações.

A arquitetura conceitual do AGORA-DS está ilustrada na Figura 15. O sistema é composto por três camadas: camada de aquisição, camada de integração e camada de suporte à decisão.

Figura 15 - Arquitetura de um sistema espacial de suporte à tomada de decisão colaborativo.



Fonte: Adaptado de Horita *et al.* (2015, p. 86).

Quanto à operacionalidade do sistema, os autores destacaram três dificuldades (HORITA *et al.*, 2015): (i) dados com formatos diversos (a exemplo de fotos *versus* valores numéricos) e com diferentes níveis de percepção na medição (níveis de água medidos *versus* percepção dos cidadãos); (ii) interoperabilidade dos dados; e (iii) transformar os dados em informação de fácil entendimento.

Pesquisas avançadas são realizadas para monitoramento de áreas degradadas, gestão de bacias hidrográficas, saneamento básico, planejamento urbano etc. Os estudos descritos mostram o leque de opções e o potencial das geotecnologias para planejamento, execução e controle. As aplicações abrangem diferentes usos e níveis de complexidade, desde repositório de dados até análises espaciais avançadas, envolvendo qualidade da água, cenários atuais e previstos, combinação de diferentes mapas e imagens de satélite, incluindo análises multicritério, modelos matemáticos e correlações entre variáveis. A aplicação das geotecnologias é abrangente, sendo frequentemente utilizadas como apoio no processo de tomada de decisão.

2.2.5 Aplicações na gestão de obras

Hax (2003) aplicou técnicas de geoprocessamento para gerenciamento e controle de obras de infraestrutura viária rural municipal em Candiota-RS. Com a integração de vários dados, tais como, inventário das rodovias, estudo de materiais, tráfego, planejamento de serviços, possibilitou-se a sistematização de dados e avaliação ampla das condições de manutenção das estradas, custos de implantação, condições de solo, drenagem etc. O autor destacou que a maioria das aplicações poderiam ser transpostas para serviços urbanos em geral, além de atividades relacionadas à gestão ambiental, tais como acompanhamento da qualidade da água e do solo, níveis de erosão, disposição de resíduos sólidos e gerenciamento de serviços de limpeza urbana. Resultados parecidos foram relatados por Salbego, Giotto e Madruga (2006).

Ferreira e Duarte (2006), em análise dos departamentos municipais de infraestrutura de Portugal, identificaram o uso frequente de sistemas de gestão de obras para cada tipo de infraestrutura. Ressaltaram a necessidade de um sistema integrado para cada municipalidade e desenvolveram um protótipo com aplicação experimental na gestão de obras viárias e redes de esgoto.

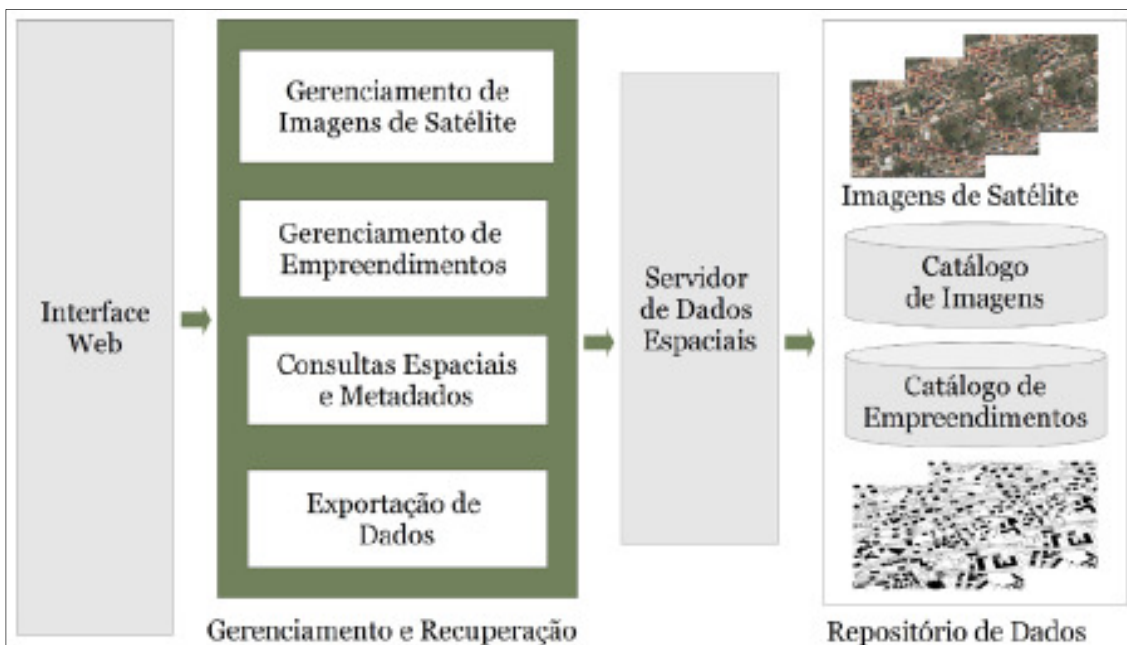
Aplicação similar foi testada por Geymen, Yomralioglu e Baz (2008), em experimento realizado na Turquia. Porém, os autores relataram certo desinteresse de alguns usuários do sistema, causada, possivelmente, por dificuldades na atualização das bases de dados e por interface pouco amigável do *software*. Salientaram ainda avanços esperados com o desenvolvimento dos SIG-Web.

As abordagens de Ferreira e Duarte (2006) e Geymen, Yomralioglu e Baz (2008) representaram avanços quanto a Hax (2003) e Salbego, Giotto e Madruga (2006), pois aqueles testaram um sistema integrado para os departamentos de cada município, enquanto que esses trataram os sistemas de forma isolada. Porém, em todos esses casos, as integrações referiam-se às bases de dados dos próprios municípios isoladamente, não se tratavam da integração de fontes de informações diversas.

O Tribunal de Contas do Estado do Mato Grosso (TCE-MT, 2008) descreveu os procedimentos para implantação do Geo-Obras, no Mato Grosso, caracterizado como um SIG-Web para obras, constituído por dados declaratórios prestados pela administração estadual e municipal. O sistema contemplava dados desde a licitação até a conclusão dos empreendimentos do estado executados com recursos estaduais ou municipais.

Miranda (2009), Holler (2011) e Daltio *et al.* (2013) destacaram relevante trabalho desenvolvido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para monitoramento de obras do PAC, englobando ações como: cobertura geocodificada das obras; monitoramento por imagens do avanço das obras; projeção das plantas das obras nas imagens; análises explicativas sucintas das imagens; e avaliação de impactos no território. A arquitetura do Sistema GeoPAC consta na Figura 16.

Figura 16 - Arquitetura do Sistema GeoPAC



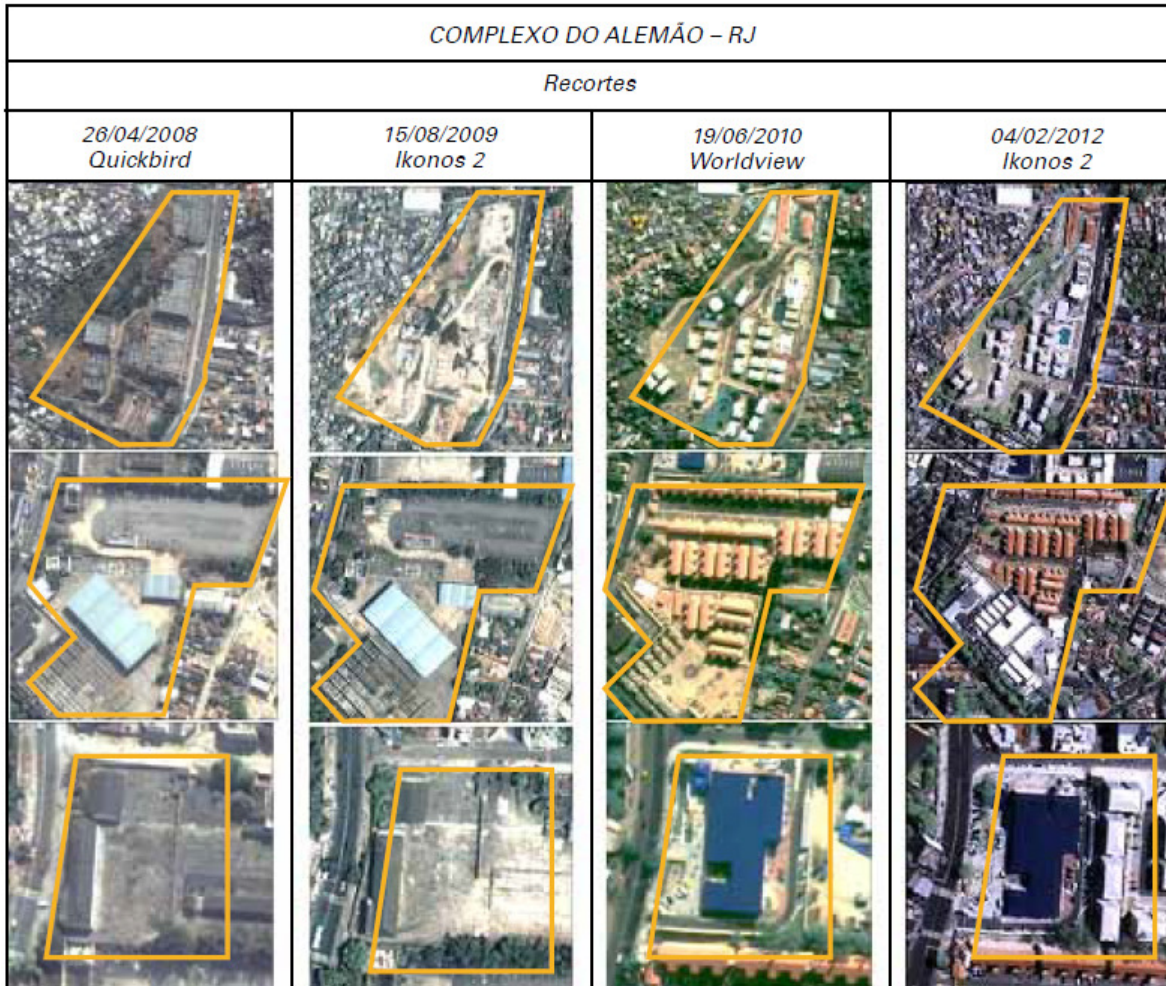
Fonte: Daltio *et al.* (2013, p. 3).

O GeoPAC englobava dados de mais 200 obras, permitindo aos usuários o gerenciamento e a interpretação das imagens de satélite. Possibilitou o monitoramento por imagens de diversos satélites (*Eros, Ikonos, Quickbird* etc.), com detalhes de 1 metro a 70 centímetros. O processo de recorte das áreas de interesse foi feito manualmente, enquanto que a classificação foi supervisionada. Um exemplo das imagens de satélite consta na Figura 17.

Entre os desafios encontrados, os autores destacaram: organizar mais de 78.000 km² de imagens de satélite; desenvolver e gerenciar um banco de dados com os metadados das obras monitoradas; desenvolver uma interface que possibilite a interpretação de imagens (*webmapping*); definir processo de classificação de imagens simplificado e consequente monitoramento espacial e temporal das obras.

Daltio *et al.* (2013, p. 18) apontaram que, dentre as extensões previstas para o sistema Geo-PAC, está a incorporação de novas funcionalidades para acrescentar novos processos, tal como interfaces customizadas para dispositivos móveis.

Figura 17 - Exemplos de imagens de satélite do Sistema GeoPAC



Nota: Complexo do Alemão-RJ - Obras (de cima para baixo): (i) implantação da unidade de realocação Joaquim Queiroz no terreno da antiga fábrica de lingerie Poesia; (ii) implantação da unidade de realocação Heliogás - Área da antiga fábrica da Coca-Cola; e (iii) implantação do Centro Integrado de Atenção à Saúde.

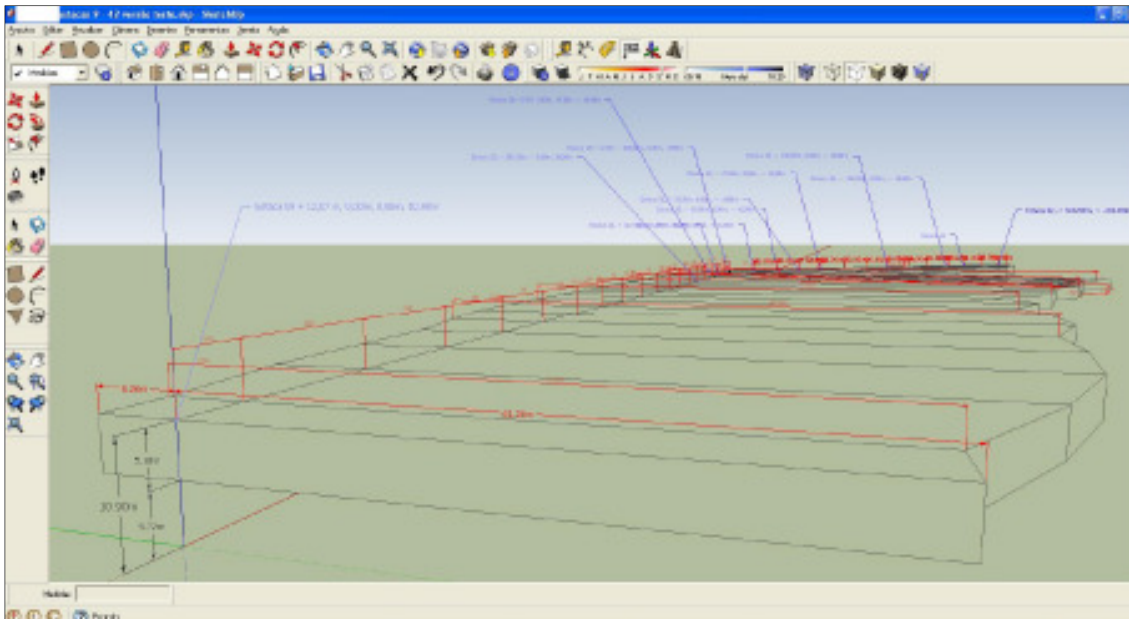
Fonte: Daltio *et al.* (2013, p. 14).

Salienta-se que o monitoramento via satélite é relativamente comum quando se tratam de grandes áreas (BEUCHLE *et al.*, 2011; RAŠI *et al.*, 2011; SUAREZ; CANDEIAS, 2014), mas o mesmo não se observa para imagens de alta resolução e monitoramento de grande número de obras. Os satélites disponíveis são capazes de obter imagens com elevado nível de detalhes. A precisão de localização e qualidade geométrica potencializa diversas aplicações no controle de obras. O sensoriamento remoto permite explorar diferentes escalas, que dependem da natureza dos estudos, podendo-se adotar abordagens mais qualitativas ou quantitativas, por exemplo.

Kurokawa e Holanda Júnior (2010), em aplicação no TCU, descreveram os resultados obtidos com o cálculo de volumes de movimentação de terra com apoio de imagens de satélite e sobreposição dessas

imagens com o traçado da obra para fins de comparação com as medições constantes das prestações de contas. O modelo tridimensional do aterro com base nas medições está representado na Figura 18.

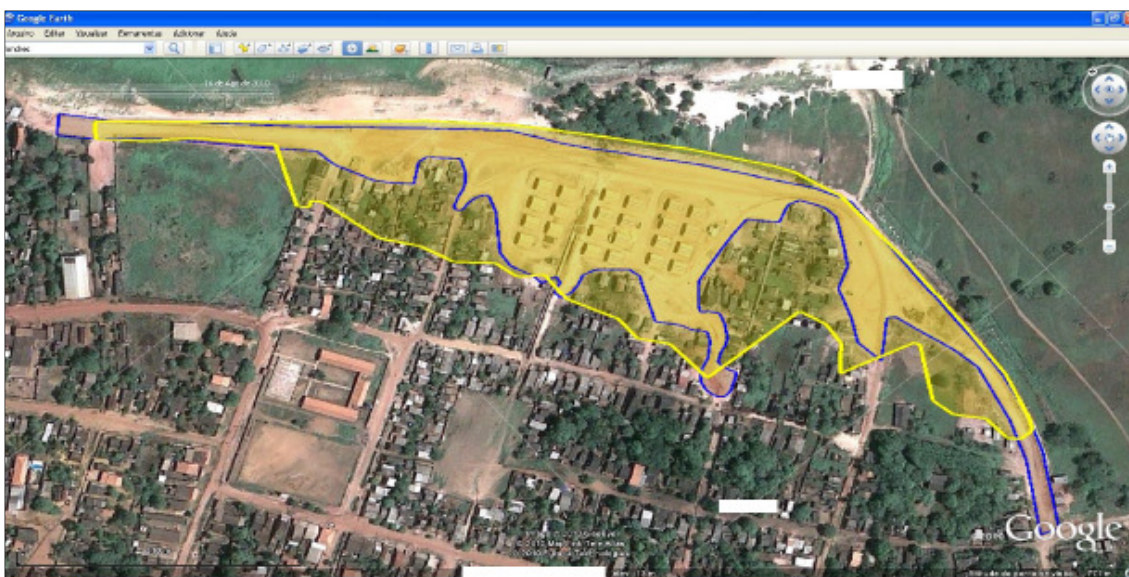
Figura 18 - Modelo tridimensional do aterro com base nas medições



Fonte: Kurokawa e Holanda Júnior (2010, p. 4).

A maquete digital elaborada foi projetada sobre a imagem de satélite do local de realização do aterro (Figura 19). Observa-se discrepância entre a área correspondente à medição apresentada pela construtora (delimitada pela linha em amarelo) e a área onde se percebe ter ocorrido, de fato, movimento de terra (linha em azul). Quando os perfis de medição, fornecidos pelo órgão público, obtidos mediante levantamento topográfico, foram projetados, os mesmos abrangeram locais onde não existia indicativo de movimento de terra na imagem de satélite.

Figura 19 - Comparação da imagem de satélite do local com as medições



Fonte: Kurokawa e Holanda Júnior (2010, p. 5).

No contexto mundial, a experiência adquirida pelos Tribunais de Contas com geotecnologias resultou na publicação do normativo *International Standards of Supreme Audit Institutions* (ISSAI) 5540/2013 - “*Uso da geoinformação em auditorias relacionadas a medidas emergenciais e de redução de riscos*” (*International Organisation of Supreme Audit Institutions* - INTOSAI, 2013). Esse normativo foi publicado no âmbito da INTOSAI, que é uma organização não-governamental para suporte à comunidade mundial de controle externo, buscando aprimoramento das Instituições Superiores de Controle. O ISSAI 5540/2013 propõe procedimentos para uso da geoinformação, abordando descrição de princípios até detalhamento de procedimentos práticos e vários exemplos potenciais de aplicação, tal como: avaliações de programas de prevenção enchentes; ações empreendidas para recuperar área destruídas; análises de riscos referentes a obras atrasadas; critérios para alocação de investimentos; e identificação de construções danificadas. A elaboração da norma contou com participação de integrantes de 23 Tribunais, em processo que perdurou de 2008 até 2013.

Kim, Marshall e Pal (2014) utilizaram SIG para examinar as condições das regiões atingidas por enchentes no Colorado, Estados Unidos, buscando identificar infraestruturas danificadas, fazendo uso de imagens de satélite, inspeções *in loco* e informações prestadas por cidadãos de forma colaborativa. Primeiramente, fizeram uso de imagens de satélite de alta resolução referentes a momentos anteriores e posteriores ao evento, com dificuldades adicionais no processamento das imagens, a exemplo de áreas com elevada turbidez que podem ser falsamente classificadas como terra descoberta. Depois complementaram as análises com inspeções *in loco* e informações prestadas pelos cidadãos, sendo estas últimas via página na internet ou aplicativos de *smartphone*, por meio do preenchimento de formulários ou encaminhamento de fotos e vídeos.

Ferraz *et al.* (2015) apresentaram resultados experimentais obtidos com VANT para conferência de quantitativos de serviços de corte e aterro da construção de uma ferrovia interligando Açailândia-MA ao porto em Barcarena-PA. Os autores apontaram escassez de experimentos para auditorias.

Bediroglu, Volkan e Nisanci (2015) destacaram a importância da computação em nuvem para os serviços prestados pelos governos, inclusive em termos de SIG (*spatial cloud computing*), acelerando o acesso aos dados de interesse. Na Turquia, mesmo os usuários de dados espaciais, na sua grande maioria, utilizam apenas sistemas *online* tradicionais, com exceção do *Google Earth*. Apesar de existirem organizações governamentais com portais disponibilizando visualizações e pesquisas espaciais, esses não são eficientes, em termos de acessibilidade e funcionalidade, além da existência de barreiras para integração dos dados. Um dos maiores problemas é a padronização dos dados, que pode ser parcialmente resolvido com algoritmos para automatização do tratamento.

No caso brasileiro, há várias bases de dados disponíveis, sendo parte deles constantes da INDA e do INDE. Em outros casos, necessita-se recorrer a bases mais específicas. São várias as fontes de informações disponíveis, a exemplo de: Portal da Transparência do Governo Federal e equivalentes no âmbito estadual e municipal; Sistema SigaBrasil do Senado Federal; Portal de Mapas do IBGE; Portal HidroWeb da ANA; Sistema Nacional de Informações das Cidades (SNIC) do Ministério das Cidades; Sistema Integrado de Monitoramento de Convênios (SISMOC) da FUNASA; Sistema de Acompanhamento de Obras (SIURB) da Caixa Econômica Federal (CAIXA); Sistema Informatizado de Licenciamento Ambiental Federal do IBAMA e equivalentes no âmbito estadual e municipal; e sistemas mantidos pelos Tribunais de Contas estaduais.

Para facilitar o controle sistêmico de obras públicas no país, caberia a criação de um cadastro federal das obras, facilitando o levantamento de dados precisos e atualizados (TCU, 2007b, 2014c). A existência de um banco de dados integrado facilitaria o acompanhamento, inclusive pela sociedade, das ações governamentais relativas a obras públicas, aumentando a transparência. Como apontado por Cavalcanti (2013, p. 121), no caso de obras totalmente georreferenciadas, os trabalhos de conferência *in loco*, no tocante a quantitativos, poderiam ser concentrados na simples conferência dos dados fornecidos, em trechos pré-definidos.

2.3 Modelagem como ferramenta para tomada de decisão e controle

Modelos são representações simplificadas da realidade, em que os detalhes insignificantes para os fins almejados são abstraídos, mantendo-se apenas as informações mais relevantes. Pidd (1998, p. 25) definiu da seguinte maneira: “*um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade*”.

2.3.1 Modelos de gestão e governança

Modelos de gestão ambiental representam os processos para planejar, organizar, dirigir e controlar, objetivando entender e reduzir os problemas causados pela ação humana sobre o meio ambiente. O modelo de Sistema de Gestão Ambiental mais conhecido é o disposto na série NBR ISO 14000, orientado sob o modelo de gestão baseado no ciclo PDCA (PLAN – planejar, DO – executar, CHECK – verificar e ACT – agir), visando o processo de melhoria contínua do desempenho ambiental²¹.

²¹ Resultado mensurável da gestão sobre seus aspectos ambientais.

Modelos de processos de negócios representam os processos de uma empresa, incluindo atividades, regras, documentos, participantes etc. A preocupação maior é com as ações a serem desempenhadas para adicionar valor ao negócio, considerando sua estrutura (PIDD, 1998, p. 34 e 35).

Modelos matemáticos, por sua vez, representam-se fenômenos por meio de operações matemáticas. Quando se trata de hidrologia, com a previsão de chuva na bacia, simula-se o escoamento ou riscos de inundação de áreas urbanas, por exemplo (CAVALCANTI; TAVARES JÚNIOR; CANDEIAS, 2013; HORITA *et al.*, 2015; RIBEIRO NETO *et al.*, 2015). Quando se trata de qualidade da água, simula-se o impacto de despejos não tratados em um corpo hídrico (BARROS; SOBRAL; GUNKEL, 2013; BENEDINI, 2011; FAN; COLLISCHONN; RIGO, 2013).

A gestão pública relaciona-se ao funcionamento no dia-a-dia de programas e organizações no contexto de estratégias, políticas, processos e procedimentos estabelecidos pelo órgão. Preocupa-se, essencialmente, com a eficácia e a eficiência das ações. É inerente e integrada aos processos organizacionais, sendo responsável pelo planejamento, execução e controle das ações, tendo como funções: implementar programas; garantir conformidade; revisar e reportar o progresso de ações; garantir eficiência administrativa; manter a comunicação com as partes interessadas; e avaliar o desempenho e aprender.

Sob uma ótica mais ampla, há a governança pública, que trata de estruturas, funções, processos e tradições organizacionais que visam garantir que as ações planejadas (programas) sejam executadas, atingindo seus objetivos e resultados de forma transparente. Busca maior efetividade das ações, tendo como funções: definir o direcionamento estratégico; supervisionar a gestão; envolver as partes interessadas; gerenciar riscos estratégicos; gerenciar conflitos internos; auditar e avaliar o sistema de gestão e controle; e promover *accountability*²² e transparência (TCU, 2014d; WORLD BANK, 2015).

A relação entre governança e gestão está ilustrada na Figura 20. TCU (2014d, p. 33) definiu governança no setor público da seguinte forma:

Governança no setor público compreende essencialmente os mecanismos de liderança, estratégia e controle postos em prática para avaliar, direcionar e monitorar a atuação da gestão, com vistas à condução de políticas públicas e à prestação de serviços de interesse da sociedade.

²² Não há uma tradução exata em português. O termo está relacionado à prestação de contas e responsabilidade.

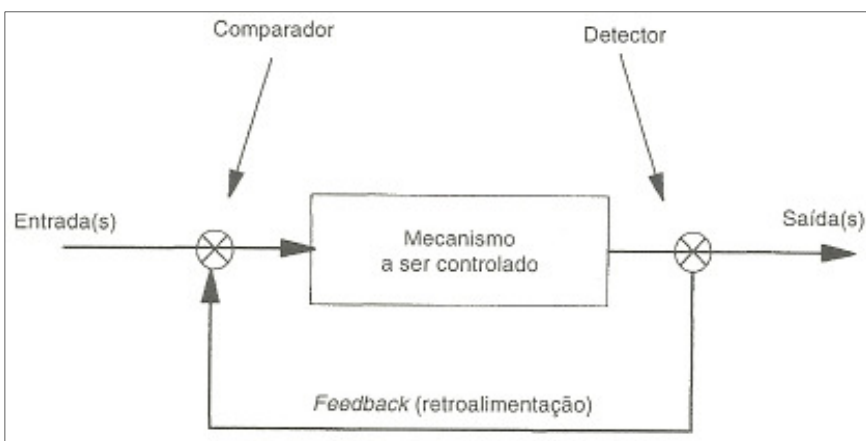
Figura 20 - Relação entre governança e gestão



Fonte: TCU (2014d, p. 32).

Um modelo de ciclo de políticas públicas busca descrever as principais etapas do processo de política pública, sendo geralmente dividido em sete fases principais: identificação do problema; formação da agenda; formulação de alternativa; tomada de decisão; implementação; avaliação; e extinção (SECCHI, 2015, p. 43 e 44).

Em qualquer caso, dois aspectos importantes são a tomada de decisões e o controle. Uma decisão deve ser tomada quando se tem mais de uma opção, tendendo a ser mais complicada quando uma decisão afete as opções subsequentes. Os modelos servem para explorar o que poderia acontecer se uma decisão particular for tomada, ou para entender melhor a situação como um todo. O controle está relacionado com as tomadas de decisões. Uma análise via modelo pode tornar mais claro onde devem ser concentrados os esforços em torno de um leque de opções. Sistemas de controle são normalmente baseados na ideia de *feedback* (Figura 21), em que um mecanismo é controlado e comparado com um nível alvo de performance (PIDD, 1998, p. 33 e 34).

Figura 21 - Um sistema de *feedback*

Fonte: Pidd (1998, p. 33).

O potencial dos instrumentos de controle é responsável também pela credibilidade e efetividade das políticas públicas, podendo abranger aspectos de governança ou de gestão. Conceber uma política de controle que harmonize ações e instrumentos voltados para promoção do interesse público e da performance dos programas governamentais é um dos principais desafios do controle da gestão pública (BEHN, 2001 *apud* ALVES, 2009, p. 15).

O sistema de controle da administração pública tem ganhado importância em muitas democracias contemporâneas em função da demanda crescente de transparência e *accountability*. Essas questões entraram na agenda dos países da América Latina entre nas décadas de 80 e 90, impulsionadas pelos processos de redemocratização e reformas. A multiplicidade e diversidade de órgãos e ações de controle é uma característica do sistema brasileiro. Essas peculiaridades, porém, podem ter resultado no aparecimento de tensões e conflitos na relação entre os controladores e os controlados. Apesar disso, houve expansão da ação dos órgãos de controle no país, que começaram a avaliar o desempenho da gestão, indo além da mera verificação da legalidade. O processo de auditoria e avaliação levou ao aparecimento de práticas cooperativas que aprimoram o desempenho do governo, mas que claramente também precisam melhorar (LOUREIRO *et al.*, 2015).

A política de controle deve enfatizar elementos como confiança, cooperação e aprendizagem, que podem ser mais enfatizados no Brasil, sendo essenciais na discussão sobre instituições e políticas públicas. Além do mais, devem-se ampliar ações concomitantes e de apoio ao aprimoramento da gestão pública. Por outro lado, um controle pouco eficiente e efetivo agrava a ineficiência da gestão ao gerar regramentos inconsistentes, acarretando insegurança, aumento dos custos e excesso de formalismo burocrático (ALVES, 2009, p. 20, 94, 99 e 100).

O desenvolvimento de um modelo de controle implica em explicitar um conjunto de procedimentos para utilização no controle de determinado objeto, ação ou programa, podendo ser sob a ótica operacional, gerencial ou de governança. A aplicação e análise dos resultados do modelo gera resultados que subsidiarão a tomada de decisão.

Quanto ao caso de obras de esgotamento sanitário no Brasil, entende-se que o desenvolvimento de modelos de controle que possibilitem o incremento da quantidade de obras avaliadas ganha mais relevância quando se considera o universo de obras custeadas com recursos federais. De acordo com o Portal Dados Abertos do Governo Federal²³, existiam 56.403 obras, considerando apenas o PAC, conforme o 11º Balanço do PAC (BRASIL, 2014b).

²³ www.dadosabertos.gov.br

O aumento no número de obras fiscalizadas esbarra, de início, em limitações administrativas e de pessoal. Demanda-se a incorporação de avanços tecnológicos, devendo-se considerar a oportunidade do desenvolvimento de modelos para utilização das bases de dados governamentais como ferramenta para o controle de obras. A utilização de bases de dados apresenta-se com uma alternativa potencial para propiciar visão sistêmica, como também maior seletividade das ações de controle.

2.3.2 Construção de modelos

A modelagem deve seguir alguns princípios gerais buscando alcançar modelos adequados e aplicáveis. Alguns desses princípios são (PIDD, 1998, p. 90–109):

- não há necessidade do modelo ser tão complexo quanto o sistema que está sendo modelado. Mais importante do que isso é seu fácil manuseio pelos usuários e que seus resultados sejam criticamente avaliados;
- seja parcimonioso, comece pequeno e acrescente: é melhor proceder de maneira gradativa, aproximando-se, aos poucos, do modelo ideal. É melhor começar construindo modelos mais simples, que podem ser facilmente entendidos;
- use metáforas, analogias e similaridades: tente usar experiências anteriores, tentando obter também uma outra perspectiva do problema, ao invés de ficar restrito a uma consideração direta;
- o modelo deve conduzir aos dados: a ideia básica é que, a partir do modelo conceitual, busquem-se os dados, e não a partir dos dados disponíveis, formule-se o modelo. Acrescenta-se que os dados não substituem o pensamento crítico e cuidadoso; e
- a construção de modelos pode ser como desenredar-se: a modelagem não é um processo linear e altamente racional, em que se alcançam progressos suaves e encaixes perfeitos. Frequentemente, modela-se de forma desordenada, tentando-se olhar para os acontecimentos a partir de diferentes perspectivas e assim por diante.

Brooks (2008, p. 9 e 10) propõe a seguinte sequência de etapas para construção de modelos econométricos²⁴, que deve ser vista como uma proposta flexível e adaptável para outras áreas de conhecimento:

- formulação do modelo teórico: é improvável que essa formulação inicial seja capaz de capturar todos os fenômenos do mundo real relevantes, mas deve apresentar uma boa aproximação do que se quer chegar;

²⁴ Econometria: área de conhecimento direcionada à sumarização de dados relevantes para concepção de modelos (VARTANIAN; CIA; MENDES-DA-SILVA, 2013, p. 13).

- coleta de dados: podem estar disponíveis eletronicamente, tal como dados divulgados pelo governo. Alternativamente, poderá ser necessário gerar dados primários;
- escolha do método de estimativa para o modelo teórico formulado: por exemplo, decide-se se basta uma única equação, ou se são necessárias equações múltiplas;
- avaliação do modelo sob uma perspectiva estatística: caso as saídas não sejam estatisticamente satisfatórias, deve-se voltar ao início, reformulá-lo e refazer as etapas subsequentes; e
- avaliação do modelo sob uma perspectiva teórica: as saídas do modelo devem ser analisadas considerando aspectos teóricos e intuitivos. Caso não sejam adequadas, deve-se retornar ao início do processo e refazer todas as etapas novamente;

Terminadas essas etapas, estando o modelador finalmente satisfeito com o resultado, o modelo pode começar a ser utilizado. Brooks (2008, p. 9 e 10) salientou que o processo de construção de um modelo empírico é iterativo. Frequentemente, o modelo final será muito diferente do originalmente proposto e não necessariamente será único, ou seja, um outro pesquisador, com os mesmos dados e a mesma teoria inicial, pode chegar a uma especificação final diferente.

A construção de modelos de controle destaca-se também no contexto de avaliação de políticas públicas. É a fase em que o desempenho da política é examinado para conhecer melhor seu estado e o nível de redução do problema. Os mecanismos de avaliação criam referências e permitem uma comparação espacial e temporal, aumentando a sensibilidade e percepção dos atores envolvidos. A avaliação pode levar à continuidade da política pública da forma como está, à reestruturação marginal de aspectos práticos ou à sua extinção, nos casos em que o problema foi resolvido ou quando as adversidades para implementá-la são insuperáveis. Os critérios podem ser operacionalizados por meio de indicadores, incluindo os de efetividades sobre a capacidade de resolução ou mitigação do problema (SECCHI, 2015, p. 64 e 65).

Os indicadores de sustentabilidade servem de sinais para orientar a tomada de decisão na gestão ambiental e desenvolvimento sustentável, podendo orientar à sociedade sobre os rumos a serem desenhados em termos de políticas, padrões de consumo e produção. A sua adoção por gestores governamentais e não-governamentais, pesquisadores, lideranças sociais e tomadores de decisão, no entanto, esbarra na pressão de dar respostas urgentes à crescente demanda das partes interessadas. Acaba-se por escolher modelos e processos nem sempre mais adequados aos seus contextos. Para modificar esse cenário, os atores devem trabalhar em conjunto para vencer os obstáculos, criando ambientes de diálogo e aprendizagem coletiva, bem como priorizando processos de educação e capacitação para o desenvolvimento sustentável. Um dos fatores-chave para viabilização de bons

indicadores é o estabelecimento de sistemas de monitoramento que viabilizem a coleta de dados com qualidade, regularidade e acesso pelas diferentes hierarquias envolvidas na tomada de decisão. Acrescenta-se que a construção de indicadores deve ter a perspectiva de aprendizado contínuo e melhoria progressiva (MALHEIROS; COUTINHO; PHILIPPI JÚNIOR, 2013, p. 7–10).

2.4 Controle da administração pública brasileira

O controle das ações governamentais deve verificar se os serviços públicos atendem à população de forma adequada, os contratos firmados seguem os preceitos da Lei de Licitações e Contratos e se as obras são corretamente executadas, nos padrões técnicos exigidos, preços de mercado e de acordo com a legislação ambiental. Di Pietro (2010, p. 761) definiu controle da administração pública como:

O poder de fiscalização e correção que sobre ela exercem os órgãos do Poder Judiciário, Legislativo e Executivo, com o objetivo de garantir a conformidade de sua atuação com os princípios que lhe são impostos pelo ordenamento jurídico.

Na avaliação dos programas governamentais deve-se realizar uma comparação dos seus custos e benefícios, considerando não apenas a perspectiva meramente econômica, mas também ecológica e social. O conceito de controle é abrangente e envolve uma multiplicidade de instituições.

A seguir apresentam-se as espécies de controle, o papel dos Tribunais de Contas, conceitos sobre as auditorias governamentais e a atuação do TCU no controle ambiental e de obras públicas, incluindo uma avaliação da sistemática de atuação dos Tribunais e o panorama de utilização das geotecnologias.

2.4.1 Controle externo e os Tribunais de Contas

As modalidades de controle podem ser classificadas quanto: (i) à posição (interno ou externo); (ii) ao momento; (iii) de legalidade ou de mérito; e (iv) ao órgão que exerce (CHAVES, 2012, p. 6 e 7).

Quanto à posição:

- controle interno: é decorrente de órgão integrante da própria estrutura em que se insere o órgão controlado, considerando-se também a estrutura de controle do Poder em que está vinculado, como é o caso da Controladoria-Geral da União (CGU) no âmbito do Poder Executivo federal; e
- controle externo: é exercido por um dos Poderes sobre o outro. O TCU está especialmente inserido neste contexto, na medida em que auxilia o Congresso Nacional no controle da administração pública federal.

Quanto ao momento em que se efetuam podem ser classificados como:

- controle prévio: quando o ato fica sujeito à autorização ou aprovação prévia;
- controle concomitante (ou *pari passu*): é o que acompanha a atuação administrativa no momento em que o ato é executado; e
- controle posterior (ou *a posteriori*): objetiva rever os atos já praticados, para corrigi-los, desfazê-los ou apenas confirmá-los (aprovação, homologação, anulação, revogação etc.).

Quanto ao controle de legalidade ou de mérito podem ser:

- controle de legalidade (ou conformidade): verificação estrita da legalidade; e
- controle de mérito (ou natureza operacional): verificação da oportunidade e conveniência.

Quanto ao órgão podem ser:

- controle administrativo: é o poder de fiscalização e correção que a administração exerce sobre a própria atuação, por iniciativa própria ou por provocação;
- controle legislativo: compreende o controle político e o financeiro; e
- controle judicial: envolve a apreciação de atos ilícitos.

Os controles mencionados referem-se aos da administração sobre ela mesma. Não se confundem com a fiscalização exercida pelo Poder Público sobre terceiros, como é o caso da atuação de órgãos ambientais, conselhos profissionais, agências reguladoras e fiscalização de contratos administrativos.

Quanto ao controle externo, o Tribunal de Contas da União teve sua competência substancialmente ampliada com a Constituição de 1988 (ALVES, 2009, p. 54–69). O Tribunal recebeu poderes para, no auxílio ao Congresso Nacional, exercer a fiscalização contábil, financeira, orçamentária, operacional e patrimonial da União. Qualquer pessoa, física ou jurídica, pública ou privada, que utilize, arrecade, guarde, gerencie ou administre dinheiro, bens e valores públicos deve prestar contas ao TCU. Entre suas competências destacam-se (BRASIL, 1988): julgar as contas dos administradores e demais responsáveis por recursos públicos; realizar inspeções e auditorias nas unidades administrativas dos Poderes Executivo, Legislativo e Judiciário; fiscalizar a aplicação de recursos repassados pela União mediante convênio a estado, Distrito Federal ou município; prestar informações ao Congresso Nacional; e assinar prazo para que o órgão adote providências para cumprimento da lei.

O controle externo é exercido, em sentido amplo, pelo Congresso Nacional e pelos respectivos poderes legislativos nos níveis estaduais e municipais. Essas casas são auxiliadas tecnicamente pelos Tribunais de Contas, aos quais cabe a fiscalização propriamente. A Constituição Federal de 1988

apresenta as competências do TCU, pelo princípio da simetria, as regras e competências da esfera federal são aplicáveis aos estados e municípios (MORAES, 2006, p. 42 e 43).

O Sistema de Tribunais de Contas Brasileiro é composto pelo TCU, com sede no Distrito Federal e representação em todas as Unidades da Federação, 26 Tribunais de Contas dos Estados (TCE), sendo um em cada Unidade da Federação, e mais o Tribunal de Contas do Distrito Federal (TC-DF). Existem ainda quatro Tribunais de Contas dos Municípios, localizados nos estados da Bahia, Ceará, Pará e Goiás, e dois Tribunais de Contas Municipais, localizados nos municípios de São Paulo e Rio de Janeiro. Os Tribunais de Contas são órgãos administrativos, vinculados aos respectivos Poderes Legislativos, mas não subordinados, pois possuem autonomia.

De forma simplificada, a competência de cada Corte de Contas é determinada pela origem do recurso. Nos investimentos do Governo Federal, cabe ao TCU a fiscalização dos recursos, não sendo competência do respectivo Tribunal de Contas estadual ou municipal, conforme o caso. No caso de investimentos compartilhados, como é o caso de convênios entre a União e estado ou município, todas as Cortes de Contas têm jurisdição sobre os recursos.

A atuação desses órgãos mostra-se fundamental na democracia, sendo um dos principais mecanismos para coibir o mal-uso dos recursos públicos (ARANTES; ABRUCIO; TEIXEIRA, 2005). Suas funções básicas podem ser agrupadas em: fiscalizadora, consultiva, informativa, judicante, sancionadora, corretiva, normativa, de ouvidoria e pedagógica.

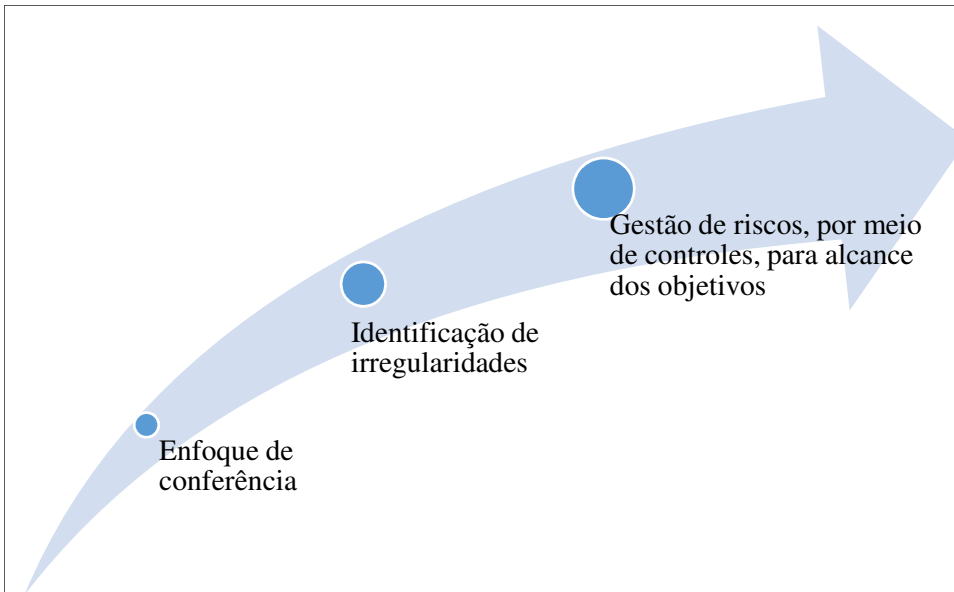
2.4.2 Auditorias governamentais

As auditorias governamentais, tal como na iniciativa privada, são um mecanismo para reduzir os conflitos existentes entre os responsáveis pela gestão do patrimônio e o proprietário. Antes mais voltada para a descoberta de erros e fraudes, as auditorias evoluíram, passando a ter também função preventiva e orientadora. Neste subtítulo, apresentam-se conceitos relacionados ao assunto e descreve-se como se dá o processo de auditoria propriamente.

Conceitos e classificações

Historicamente, as auditorias tinham dois enfoques principais: (i) conferência de informações prestadas ou confirmação de valores; e (ii) identificação de irregularidades e fraudes. No contexto atual, as auditorias passam a abordar com maior destaque a gestão de riscos. Uma síntese dessa evolução consta na Figura 22.

Figura 22 - Evolução do enfoque das auditorias



Fonte: Carvalho Neto (2011, p. 21).

Os conceitos e formas de classificação variam com o tempo e de acordo com a atividade. Busca-se confrontar a situação existente com a desejada, sendo essa baseada em critérios bem definidos. Um conceito geralmente aceito é (TCU, 2011a, p. 13):

O exame independente e objetivo de uma situação ou condição, em confronto com um critério ou padrão preestabelecido, para que se possa opinar ou comentar a respeito para um destinatário predeterminado.

O trecho a seguir retrata uma visão mais detalhada (TCU, 2011a, p. 13):

Auditoria é o processo sistemático, documentado e independente de se avaliar objetivamente uma situação ou condição para determinar a extensão na qual critérios são atendidos, obter evidências quanto a esse atendimento e relatar os resultados dessa avaliação a um destinatário predeterminado.

Pormenorizando esse conceito, acrescenta-se:

- processo sistemático: a auditoria consiste em um trabalho planejado e metódico;
- processo documentado: baseado em documentos e padronizado com procedimentos específicos, de modo a assegurar sua revisão e manutenção das evidências obtidas;
- processo independente: deve ser realizada por pessoas com independência;
- avaliação objetiva: os fatos devem ser avaliados de forma imparcial e precisa;
- situação ou condição: o estado ou a situação existente do objeto da auditoria, encontrado durante a execução do trabalho. É também chamada de “situação encontrada”;
- critério: referencial a partir do qual o auditor faz seu julgamento. A discrepância entre a situação existente e o critério originará o achado de auditoria;

- evidências: elementos de comprovação da discrepância (ou não) entre a situação encontrada e o critério de auditoria; e
- relato de resultados: os resultados de uma auditoria são relatados a um destinatário predeterminado, por meio de um relatório, instrumento formal e técnico no qual o auditor comunica o objetivo, o escopo, a extensão e as limitações do trabalho, os achados de auditoria, as avaliações, opiniões, conclusões e as propostas de encaminhamento.

Com relação ao relato dos resultados, materializado em um relatório técnico, destaca-se o capítulo dos achados de auditoria, que consiste em (TCU, 2011a, p. 40):

Achado - qualquer fato significativo, digno de relato pelo auditor, constituído por quatro atributos essenciais: situação encontrada (ou condição, o que é), critério (o que deveria ser), causa (razão do desvio em relação ao critério) e efeito (consequência da situação encontrada). Decorre da comparação da situação encontrada com o critério e deve ser devidamente comprovado por evidências. O achado pode ser negativo, quando revela impropriedade ou irregularidade, ou positivo, quando aponta boas práticas de gestão.

Fazendo um paralelo, entende-se que o achado está para a auditoria governamental, assim como o problema está para processo de política pública. Secchi (2015, p. 10, 43 e 44) conceituou problema público como sendo a diferença entre a situação atual e uma situação ideal possível. Ressaltando que, enquanto o achado é um uma saída do processo de auditoria, o problema é geralmente visto como uma entrada do processo de política pública.

Existem várias formas de classificar as auditorias governamentais. A Constituição Federal de 1988, no seu art. 71, inc. IV, elenca cinco tipos: contábil; financeira; orçamentária; operacional; e patrimonial. Já no *caput* do art. 70, definem-se grandes critérios para as auditorias, sendo: legalidade (observância de leis e regulamentos); legitimidade (atendimento do interesse público); e economicidade (otimização dos custos sem comprometer os padrões de qualidade). A classificação pode se dar também de acordo com o objeto auditado: de obras, ambiental, de pessoal de tecnologia da informação etc.

De acordo com as Normas de Auditoria do TCU, quanto à natureza, a depender do objetivo prevalecente, as auditorias classificam-se em (TCU, 2011a, p. 14):

- auditorias de regularidade (ou de conformidade): objetivam examinar legalidade e legitimidade dos atos de gestão, quanto aos aspectos contábil, financeiro, orçamentário e patrimonial; ou

- auditorias operacionais (ou de desempenho): objetivam examinar a economicidade, eficiência, eficácia e efetividade de organizações, programas e atividades governamentais, para avaliar seu desempenho e aperfeiçoar a gestão pública.

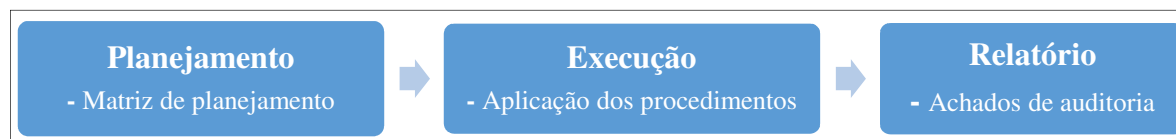
As auditorias governamentais seguem duas vertentes principais: zelar pela “boa” e pela “regular” aplicação dos recursos. Fiscalizar a “regular” aplicação está mais relacionado às auditorias de regularidade, cujos critérios concentram-se na legalidade dos atos administrativos. Em complemento, a “boa” aplicação está mais relacionada às auditorias operacionais e ao atingimento de resultados satisfatórios, cujos critérios referem-se à eficiência, efetividade e economicidade dos atos.

Além das auditorias realizadas diretamente pelas equipes das respectivas unidades técnicas, há outro formato denominado de Fiscalização de Orientação Centralizada (FOC). Esse formato caracteriza-se por envolver a participação de diversas unidades, com o objetivo de avaliar, de forma sistêmica, temas ou objetos de controle, em âmbito nacional ou regional. As FOC são um conjunto de fiscalizações com preparação, coordenação e consolidação centralizada, mas com execução descentralizada.

Processo de auditoria

O processo de auditoria inicia-se com a definição dos seus objetivos, questões, procedimentos e escopo. O objetivo representa a questão fundamental a ser avaliada, é o propósito do trabalho. Na sequência, devem ser elaboradas as questões de auditoria, que detalham o objetivo. Os procedimentos são as verificações, ou exames, ou testes de auditoria, realizadas para responder as questões. O escopo consiste na delimitação do trabalho, expresso pelo objetivo, questões e procedimentos em conjunto. As auditorias dividem-se em três fases: planejamento, execução e relatório (TCU, 2011a). Essas três fases estão sintetizadas na Figura 23, cujo conteúdo detalha-se nos parágrafos adiante.

Figura 23 - Fases do processo de auditoria



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de TCU (2011a).

O “Planejamento” retratado na Figura 23 é o operacional, sendo de responsabilidade da equipe de auditoria e referente a um trabalho de auditoria específico. A palavra “planejamento” abrange três dimensões: estratégica, tática e operacional (CARVALHO NETO, 2011, p. 45). O estratégico e o tático dizem respeito às atividades do órgão de auditoria como um todo e são de responsabilidade de seus dirigentes, abrangendo todas as atividades de auditoria para um determinado período.

O planejamento é a primeira fase da auditoria. Espera-se o levantamento preliminar de informações para: obter visão geral do objeto; identificar e avaliar objetivos, riscos e controles da entidade auditada; preparar questionários, roteiros de entrevistas e planilhas; e elaborar projeto de auditoria, contemplando agenda de reuniões, apresentação aos gestores e matriz de planejamento (CARVALHO NETO, 2011, p. 46 e 47). Uma vez definidos o escopo e as questões de auditoria, a equipe deverá elaborar a matriz de planejamento, que é um dos principais produtos dessa etapa. Caracteriza-se como um quadro-resumo das informações relevantes do planejamento. Os procedimentos a serem aplicados durante a fase de execução devem estar detalhados, indicando as informações requeridas e as fontes de informação. O Quadro 3 apresenta um modelo de matriz de planejamento.

Depois planejadas as atividades, inicia-se a fase de execução, que consiste, predominantemente, na aplicação dos procedimentos previstos. É nesta fase que são realizados os testes, coletadas as evidências e desenvolvidos os achados de auditoria.

O relatório de auditoria é o instrumento formal e técnico para comunicação dos resultados. Somente devem constar as ocorrências que gerem conclusões e propostas de encaminhamento. Deve contemplar (TCU, 2010a, p. 42–46):

- Apresentação
- Introdução
 - Visão geral do objeto; objetivo e questões de auditoria; metodologia utilizada e limitações inerentes à auditoria; volume de recursos fiscalizados; benefícios estimados da fiscalização
- Achados de auditoria
 - Descrição; situação encontrada; critérios; evidências; objetos nos quais o achado foi constatado; causas da ocorrência; efeito (potenciais ou reais); conclusão
- Conclusão
- Proposta de encaminhamento

Quadro 3 - Formato-padrão da matriz de planejamento

PROCESSO N.:

ÓRGÃO/ENTIDADE: Declarar o(s) nome(s) do(s) principais órgão(s)/entidade(s) auditado(s)

OBJETIVO: Enunciar de forma clara, resumida e de forma declarativa o objetivo da auditoria.

Questões de auditoria	Informações requeridas	Fontes de informação	Procedimentos	Detalhamento do procedimento	Possíveis achados
<p>Focar os principais aspectos do objetivo pretendido.</p> <p>Limitar ao objetivo da auditoria.</p> <p>Englobar todos os itens que serão verificados.</p>	<p>Limitar à questão.</p> <p>Prever todas as informações necessárias e especificá-las.</p> <p>Não descrever sob a forma de questionamento.</p> <p>Associar a pelo menos uma fonte de informação.</p>	<p>Quem?</p> <p>Onde?</p> <p>Qual documento?</p> <p>Especificar.</p> <p>Associar a pelo menos uma informação requerida.</p>	<p>Associar pelo menos um procedimento para cada informação requerida.</p> <p>Não formular procedimentos para informações requeridas não previstas.</p>	<p>Detalhar os procedimentos em tarefas de forma clara, esclarecendo os aspectos a serem abordados.</p> <p>Descrever as técnicas que serão aplicadas.</p>	<p>Limitar ao previsto na questão.</p> <p>Guardar coerência com a questão.</p> <p>Descrever exatamente o que se espera como resposta ao questionamento.</p> <p>Evitar generalizações.</p>

Fonte: Adaptado de TCU (2010a, p. 5).

Para modernização das auditorias, o estudo de métodos com utilização de bases de dados ganha destaque, pois há cada vez mais dados disponíveis (FREITAS; DACORSO, 2014, p. 885; TCU, 2014b). Acrescentam-se também os desafios científicos relacionados a *Big Data* (BEDIROGLU; VOLKAN; NISANCI, 2015; LEE; KANG, 2015; NATIVI *et al.*, 2015).

Como exemplo de avanço nesse sentido, apontam-se as auditorias contínuas, caracterizadas como um processo contínuo de análise de dados, possibilitando identificar anomalias, para então se adotarem procedimentos adicionais (CHAN; VASARHELYI, 2011; COSTA, 2012; JANS; ALLES; VASARHELYI, 2013; MOTTA JÚNIOR, 2010). Mede-se, de forma automática, determinados parâmetros e compara-os com padrões esperados. Caso as diferenças sejam relevantes, iniciam-se análises mais específicas.

Freitas (2011, p. 211) conceituou cruzamento eletrônico de dados como uma comparação automática de dados, a partir de um campo comum parametrizado pelo auditor. Os resultados obtidos constituem-se como indícios a serem confirmados com outras técnicas, dependendo do nível de confiabilidade dos sistemas em que foram extraídos os dados.

O paradigma das auditorias contínuas introduz uma série de inovações quanto à abordagem tradicional, podendo-se resumi-las em sete dimensões: avaliações mais frequentes; modelo de auditoria proativo; automação de procedimentos de auditoria; evolução do trabalho e papel dos auditores; mudança na natureza, tempestividade e extensão da auditoria; utilização de modelagem e análise de dados para monitoramento e testes; e mudanças na natureza e tempestividade dos relatórios (CHAN; VASARHELYI, 2011, p. 15).

De toda forma, observando a auditoria como um processo de trabalho, suas principais entradas (insumos) são: situações encontradas; objetos; e critérios. Para chegar aos resultados esperados, aplicam-se procedimentos predefinidos, descritos na matriz de planejamento, e obtêm-se as saídas (resultados), materializadas nos relatórios de auditoria.

2.4.3 Tribunal de Contas da União no controle ambiental e na fiscalização de obras

O controle ambiental exercido pelo TCU concentra-se na atuação dos órgãos federais que compõem o SISNAMA e na fiscalização de entes públicos com atividades de impacto ambiental. Quanto às obras públicas, sua atuação é mais centrada na verificação de irregularidades durante a contratação e execução, inclusive para fins de comunicação ao Congresso Nacional.

Controle ambiental

Os objetivos das auditorias ambientais são distintos no setor privado, administração pública e controle externo. No setor privado, observa-se o cumprimento de exigências do mercado, além de políticas empresariais e socioambientais. Quanto à administração pública, a existência de instituições especificamente incumbidas da preservação ambiental, não isenta a participação dos outros na proteção do patrimônio ambiental. Ao controle externo resta verificar se as políticas públicas relacionadas ao meio ambiente estão tendo sucesso. O Quadro 4 apresenta um resumo dos objetivos envolvidos nas auditorias ambientais.

Quadro 4 - Objetivos das auditorias ambientais

Aplicação	Objetivo
Setor privado	Avaliar se as atividades, eventos, sistemas de gestão e condições ambientais especificados ou as informações relacionadas a estes estão em conformidade com os critérios estabelecidos pela empresa.
Administração pública	Realizar avaliações e estudos destinados a determinar: (i) os níveis efetivos ou potenciais de degradação ambiental provocados por atividades de pessoas físicas ou jurídicas; (ii) as condições de operação e de manutenção dos equipamentos e sistemas de controle de poluição; (iii) as medidas a serem tomadas para restaurar o meio ambiente e proteger a saúde humana; e (iv) a capacitação dos responsáveis pela operação e manutenção, instalações e equipamentos de proteção ambiental.
Controle externo	Avaliar os aspectos ambientais envolvidos em políticas, programas, projetos e atividades desenvolvidas pelos órgãos e entidades.

Fonte: Adaptado de Lima (2009, p. 122).

A diversidade de conceitos deriva também das suas várias finalidades, dentre as quais:

- legais: verificar o cumprimento da legislação e ser instrumento de fiscalização;
- políticas: fazer frente a pressões externas, informar consumidores, funcionários e o público e subsidiar campanhas institucionais e publicitárias; e
- econômicas: ser elemento para certificação ambiental, negociar prêmios de seguros e taxas de financiamento e detectar potenciais de redução e reciclagem de insumos.

Com a Portaria n. 383/1998, o TCU definiu formalmente sua estratégia de atuação na área ambiental (TCU, 1998). O Tribunal adotou como premissa que é objetivo do Poder Público a preservação do equilíbrio ecológico para promoção do desenvolvimento socioeconômico. O Manual de Auditoria Ambiental estabeleceu que se deve buscar coerência entre as ações do governo e a promoção do desenvolvimento sustentável (TCU, 2001, p. 4). Embora a ênfase da estratégia de atuação tenha caráter preventivo, é responsabilidade atuar também nos casos de solicitação do Congresso Nacional

e de denúncias (LIMA, 2009, p. 107). A atuação envolve múltiplos aspectos, entre os quais: exame da legalidade, economicidade e eficácia da gestão dos órgãos do SISNAMA; e fiscalização de entes públicos com atividades de impacto ambiental (LIMA; MAGRINI, 2010).

O controle da gestão ambiental pública é essencialmente operacional e patrimonial. É operacional porque está relacionado à efetividade das políticas públicas ambientais. E patrimonial porque trata da preservação do patrimônio ambiental (LIMA, 2011).

O TCU tem atuado para aprimorar a gestão ambiental, conforme se verifica em várias auditorias, a exemplo das auditorias sobre segurança hídrica no semiárido em face das mudanças climáticas (TCU, 2009) e sobre os procedimentos adotados pelo governo para compensações ambientais (TCU, 2013c).

Quanto ao trabalho sobre segurança hídrica no semiárido (TCU, 2009), avaliaram-se políticas públicas e ações governamentais voltadas para garantir a segurança hídrica da região, considerando-se os possíveis impactos das mudanças climáticas. Entre os principais achados, destacam-se:

- os órgãos governamentais ainda não dispunham de estudos específicos avaliando o grau de impacto no semiárido, inclusive quanto à segurança hídrica, embora a região seja uma mais vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas;
- as políticas e ações governamentais não levam em consideração os possíveis impactos provocados pelas mudanças climáticas, assumindo o risco de resultarem ineficazes;
- falta de priorização de políticas visando fornecimento de água e estruturação socioambiental da região para atendimento das populações rurais difusas; e
- pouca representatividade das ações de gestão de resíduos sólidos e de tratamento de esgoto sanitário, tendo como consequência a contaminação de mananciais, prejudicando a eficiência das políticas de garantia hídrica para a região.

Quanto às compensações ambientais²⁵ (TCU, 2013c), verificaram-se as etapas da operacionalização junto ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), bem como os controles instituídos para avaliar a aplicação dos recursos. Destacam-se os seguintes achados:

- significativo passivo de processos capazes de gerar compensação ambiental, cujo quantitativo exato é desconhecido pelo órgão responsável;
- ausência de normativo especificando procedimentos para validação dos valores de referência declarados pelos empreendedores;

²⁵ A compensação ambiental é um instrumento de política pública previsto na Lei n. 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000). O art. 36 impõe ao empreendedor a obrigatoriedade de apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação, quando, durante o processo de licenciamento ambiental, o empreendimento for considerado como de significativo impacto ambiental negativo.

- morosidade nos procedimentos entre a destinação desses recursos e a celebração dos termos de compromisso com os empreendedores;
- inexistência de sistemas informatizados de gestão da compensação ambiental; e
- precariedade das ações de controle (fiscalização e monitoramento) realizadas no âmbito do IBAMA e do ICMBio.

Os exemplos descritos ilustram a relevância dos trabalhos quanto ao controle ambiental, contribuindo para o aprimoramento das políticas públicas na área. Cabe ao Poder Executivo debruçar-se sobre os apontamentos realizados e implementar as melhorias requeridas.

Além das auditorias ambientais propriamente, quando da fiscalização em obras públicas, os manuais orientam às equipes de fiscalização a efetuar testes de natureza ambiental. Nesses casos, é dada ênfase a aspectos relativos ao licenciamento ambiental, a exemplo de (TCU, 2012b, p. 110–112):

- verificar a existência de estudos que comprovem a viabilidade técnica, econômica e ambiental da obra;
- avaliar se a obra precisa de licenciamento ambiental e se está devidamente licenciada;
- verificar se o projeto básico contempla as medidas mitigadoras; e
- observar se as condicionantes ambientais estão sendo observadas.

Ao longo dos anos foram identificadas, em fiscalizações de obras, de forma recorrente, achados relacionados à área ambiental, em especial quanto a deficiências nos procedimentos de licenciamento e projetos básicos sem contemplar as medidas mitigadoras (LIMA, 2011, p. 35 e 36). Exames de natureza ambiental, na medida do possível, devem ser rotina durante as fiscalizações nas diversas áreas, sem prejuízo da continuidade das auditorias com vieses mais centrados à gestão ambiental.

Fiscalização de obras públicas

Os investimentos governamentais envolvem elevado volume de recursos e são responsáveis pela geração direta e indireta de significativo número de empregos, promoção do desenvolvimento local e melhoria da qualidade de vida da população, mas também por impactos ambientais negativos. Caso a condução das obras seja realizada de forma inadequada, existe o risco de execução inadequada dos serviços, agressões não previstas ao meio ambiente, pagamento por serviços não realizados e contratação por valores superiores aos praticados no mercado.

Uma das principais diretrizes de atuação do TCU na fiscalização de obras refere-se ao encaminhamento anual, ao Congresso Nacional, de uma relação de obras com indícios de irregularidades graves. O ano de 1995 foi um marco inicial dessa relação, quando o Tribunal informou ao Congresso inconsistências entre as emendas orçamentárias aprovadas e os respectivos projetos

básicos das obras. Na oportunidade, o TCU alertou quanto à prática inapropriada de privilegiar recursos para novos projetos, em detrimento da conclusão de obras já iniciadas (MACHADO FILHO, 2008, p. 12). Em novembro do mesmo ano, uma Comissão Temporária do Senado Federal destinada a inventariar as obras inacabadas apresentou seu relatório final, apontando falhas graves no gerenciamento das obras no país (SENADO FEDERAL, 1995, p. 7).

A partir de 1997, as Leis de Diretrizes Orçamentárias (LDO)²⁶ passaram a contemplar comandos relacionados ao controle externo de obras públicas, identificando prazos e responsáveis para fiscalizações no âmbito do processo orçamentário anual. Ao TCU foi instituída a obrigação de remeter à Comissão Mista de Orçamento do Congresso Nacional informações sobre a execução físico-financeira das obras (MACHADO FILHO, 2008, p. 12 e 13; VASCONCELOS, 2014).

Em 1999, TCU e Congresso Nacional voltaram a atuar de maneira integrada por ocasião da Comissão Parlamentar de Inquérito do Judiciário, quando foram investigados os custos de construção do edifício sede do Tribunal Regional do Trabalho em São Paulo, caso que ganhou ampla repercussão nacional.

Em 2001, foi criada a Comissão Parlamentar de Inquérito das Obras Inacabadas, destinada a investigar irregularidades em obras iniciadas e não concluídas. Ao final dos trabalhos, a Comissão fez diversas recomendações ao TCU, propondo um novo modelo de fiscalização, em que o TCU informa, anualmente, ao Congresso Nacional, os indícios de irregularidades graves encontrados. O Congresso, por sua vez, decide quanto à continuidade de alocação de recursos para as obras (MACHADO FILHO, 2008, p. 32–38). Esse modelo se consolidou e é confirmado a cada nova edição da Lei de Diretrizes Orçamentárias²⁷. No Tribunal de Contas da União, esse modelo de controle é denominado de Fiscobras.

O Fiscobras passou a ser a principal forma de atuação do TCU no controle de obras públicas, mas o órgão continua diversificando e modernizando sua forma de atuação. O Tribunal passou a avaliar as obras também sobre outras óticas, e não apenas a identificação de irregularidades graves. Procura-se uma visão mais sistêmica da área de infraestrutura, com intuito de contribuir para governança e para uma atuação mais preventiva (COSTA, 2012, p. 8 e 11; VASCONCELOS, 2014).

²⁶ A LDO faz parte do conjunto de leis que definem o orçamento federal, conforme art. 165 da Constituição Federal (BRASIL, 1988). Deve ser compatível com o Plano Plurianual, estabelecendo o conjunto de metas e prioridades da administração pública federal, e orientando a elaboração da Lei Orçamentária Anual para o ano seguinte.

²⁷ As LDO vêm, anualmente, ajustando os dispositivos relacionados à fiscalização de obras, inclusive no que se refere ao fluxo de informações existentes entre o TCU e o Congresso.

Análise da sistemática de atuação dos Tribunais de Contas

Arantes, Abrucio e Teixeira (2005), em amplo estudo sobre os Tribunais de Contas subnacionais²⁸, concluíram que os Tribunais são relativamente conhecidos e têm sua atuação legitimada. O estudo contou com o apoio de dirigentes e técnicos dos 33 Tribunais subnacionais e foram realizadas 644 entrevistas envolvendo todos os estados da federação e personalidades dos Poderes Legislativo, Executivo e Judiciário, além do Ministério Público e da sociedade civil.

A importância institucional e capacitação técnica dos Tribunais de Contas foram destacadas como pontos positivos. Concluiu-se também que a função fiscalizadora do estado é muito valorizada pela sociedade, com destaque para a execução de auditorias.

Em que pese o destacado papel desses órgãos, foram identificadas fragilidades na atuação das Cortes, a exemplo de problemas de comunicação com o Executivo e com a sociedade em geral. Apontou-se que esses órgãos deveriam aprimorar os cinco aspectos listados a seguir, em ordem de importância (ARANTES; ABRUCIO; TEIXEIRA, 2005):

- independência institucional, composição e desempenho apolíticos;
- transparência, principalmente com relação à sociedade;
- agilidade;
- orientação, auxílio, educação e prevenção; e
- perseguir seu papel institucional, melhorando a efetividade de suas ações.

As burocracias estaduais e municipais apontaram que são pouco fiscalizadas. Além disso, pontuaram-se: politização dos Tribunais; falta de transparência e relacionamento deficiente com a sociedade; falta de agilidade nas decisões; e intempestividade das ações. Foram apontadas oportunidades de melhoria em quatro grandes temas: orientação, educação e prevenção; atuação *pari passu*, concomitante e *in loco*; avaliação dos resultados das políticas governamentais; mais transparência e maior contato com a sociedade civil.

Mesmo o TCU não tendo sido objeto direto do estudo, entende-se que boa parte dessas conclusões acontecem também nessa Corte de Contas. Isso porque as competências constitucionais e algumas limitações impostas ao órgão apresentam similaridades com os outros Tribunais.

²⁸ Estudo sobre a imagem dos Tribunais de Contas subnacionais, encomendado pelo Ministério do Planejamento, no âmbito do Programa de Modernização do Sistema de Controle Externo dos Estados e do Distrito Federal. Esse Programa teve como objetivo modernizar o controle externo dos governos estaduais e municipais

Quanto a problemas na efetividade das decisões do TCU, Nascimento (2011, p. 66–68) concluiu pela relativa baixa efetividade, no que tange ao ressarcimento ao erário decorrente da execução judicial de suas decisões. O autor ressaltou dificuldades para levantar informações precisas sobre a recuperação dos valores, tendo encontrado resultados bem divergentes, variando de 0,5% até 15%. Mas, de qualquer forma, demonstrou o relativo baixo retorno dessas ações.

Alves (2009, p. 94) ponderou que, embora crescente, ainda é tímida a ação dos órgãos de controle em ações concomitantes e de apoio ao aprimoramento da gestão pública em comparação com o tempo despendido em outras atividades de controle. Olivieri *et al.* (2015) propuseram o desenvolvimento de um diálogo contínuo entre os órgãos de controle e à sociedade.

No tocante às obras públicas especificamente, a atuação do TCU, de forma conjunta com o Congresso Nacional, de certa forma, contribuiu para o aprimoramento da gestão das obras e auxiliou os gestores na aplicação de medidas corretivas, em que pese necessidade de melhorias (MACHADO FILHO, 2008, p. 39–46; SILVA, 2011, p. 39–43). Essas conclusões baseiam-se, entre outros, na constatação da redução das obras com indícios graves de irregularidades e nos benefícios advindos das fiscalizações, considerando a atuação dos gestores para sanear as irregularidades. Entre as causas para os resultados positivos, têm-se a expectativa do controle gerada nos gestores públicos e a obrigatoriedade de comparecimento às audiências públicas no Congresso para justificar os indícios de irregularidades. A interação entre as instituições permitiu também que o Congresso aprimorasse e construísse uma legislação mais consistente na área de fiscalização de obras.

Acrescenta-se a relevância da inserção da questão ambiental no âmbito do controle externo. Ribeiro e Oliveira (2003, p. 35 e 36), em discussão a respeito, concluíram pela necessidade de: integração entre os órgãos de controle; implementação de redes de trabalho com universidades e institutos de pesquisa; construção e/ou acesso a bancos de dados sobre análises de políticas ambientais; cadastramento de um banco de especialistas que possam servir de consultores; desenvolvimento de técnicas e métodos que permitam a verificação dos dados informados pelos gestores e permitam a integração de várias bases de dados; e desenvolvimento de canais de comunicação mais ágeis para participação social.

O trabalho acima foi publicado há mais de 10 anos, mas seus apontamentos continuam válidos. A efetiva implantação das medidas sugeridas reveste-se de dificuldades de caráter institucional e técnico. A ação conjunta entre os órgãos é dificultada, na prática, por questões administrativas e de prioridades de gestão. A integração entre os bancos de dados encontra empecilhos de ordem prática, uma vez que muitos deles foram criados sem a perspectiva de posterior comunicação entre eles.

Quanto à celeridade de atuação das Cortes de Contas, Reis, Dacorso e Tenório (2015, p. 248 e 249), por meio de estudo de caso na Bahia, observaram que a utilização intensiva de tecnologia de informação e comunicação na prestação de contas trouxe como resultado um processo mais célere, redução de erros, incremento na qualidade das análises com cruzamento e comparação de dados e aumento do reconhecimento da legitimidade e reputação do Tribunal junto aos gestores.

Em estudo específico realizado no TCE-MG, Quintão e Carneiro (2015) analisaram os resultados oriundos de processos de tomadas de contas especiais. Esse tipo de processo é o instrumento de que dispõe a administração pública para ressarcir-se de eventuais prejuízos que lhe forem causados. Os autores concluíram pela intempestividade e reduzido alcance das decisões quanto à responsabilização. Por um lado, os órgãos estaduais não cumpriram adequadamente seu papel de efetiva fiscalização da aplicação dos recursos públicos repassados via convênios. Por outro, o Tribunal de Contas não obteve sucesso na apuração das irregularidades e no ressarcimento ao erário dos danos.

Martinez (2006, p. 4 e 5) destacou dois efeitos maléficos, de cunho social, relacionados à falta de efetividade das decisões dos Tribunais. O primeiro está relacionado ao sentimento de impunidade por parte dos maus gestores públicos, incentivando a corrupção. O segundo recai sobre a sociedade, cujo mesmo sentimento de impunidade põe em descrédito todo o sistema.

Quanto à política de controle federal como um todo, há casos de excesso de formalismo e dificuldades em apoiar os gestores no acompanhamento e avaliação dos programas de governo, além de deficiências na coordenação dos órgãos que compõem a rede de controle, em que pese avanços claros (ALVES, 2009, p. 91 e 92; LOUREIRO *et al.*, 2015).

Os aspectos apresentados destacam a importância institucional das Cortes de Contas. Por outro lado, demanda-se aprimoramento desses órgãos, mediante atuação mais tempestiva e preventiva, maior contato com os jurisdicionados e com a sociedade em geral. A complexa estrutura e a diversidade das ações de governo requerem constante evolução e modernização das auditorias.

Para atender novas demandas, o TCU passou a perseguir uma visão mais sistêmica da área de infraestrutura e contribuir para melhoria da governança pública (COSTA, 2012; TCU, 2014d; VASCONCELOS, 2014). Com frequência, uma única fiscalização inclui diversos empreendimentos, aumentando a abrangência dos trabalhos e possibilitando uma visão geral dos problemas encontrados. Citam-se como exemplos dessa abordagem, auditoria operacional sobre governança de obras de saneamento da FUNASA (TCU, 2013d) e auditoria referente à qualidade das obras de Unidades de Pronto Atendimento do Ministério da Saúde (TCU, 2014e).

Além da verificação de aspectos de qualidade e governança, pondera-se também a relevância de abranger um maior número de obras. O relatório de consolidação do Fiscobras 2014 (TCU, 2014a) apontou que foram autuados 102 processos de fiscalização, referentes a 389 empreendimentos auditados *in loco*, sendo R\$ 12,38 bilhões o volume de recursos fiscalizados (VRF). Em que pese a relevância em valor e quantidade, quando considerado o universo de obras custeadas com recursos federais, observa-se potencial para aumentar o número de obras fiscalizadas. Conforme já mencionado, existem dezenas de milhares de obras públicas em execução no país (BRASIL, 2014b).

Além da visão sistêmica, a fiscalização de um maior número de empreendimentos também geraria maior expectativa de controle junto aos jurisdicionados. Citam-se como exemplo os municípios conveniados com o Governo Federal que, em função dos relativos baixos valores conveniados, são bem menos fiscalizados pelos Tribunais de Contas (ARANTES, ABRUCIO e TEIXEIRA, 2005).

Um dos desafios atuais no campo da auditoria de obras públicas consiste no desenvolvimento de modelos de controle que possibilitem visão sistêmica da situação das obras em determinados setores, possibilitando ações tempestivas e efetivas. É preciso também conferir maior agilidade e transparência ao controle, além de buscar parcerias, alcançar uma postura mais pedagógica e preventiva e, ao mesmo tempo, ampliar a expectativa de controle. A utilização de bancos de dados existentes, aliados a análises espaciais com aplicação de SIG aparecem como alternativa para aprimoramentos no modelo de controle.

2.4.4 Utilização das geotecnologias pelos Tribunais de Contas do Brasil

Levantou-se o histórico de evolução das auditorias de obras, para o período de 1996 até 2013, procurando identificar quando, e como, se deu a inserção das geotecnologias nas auditorias²⁹. Observaram-se aprimoramentos quanto à maior padronização das ações, implantação de novos métodos e atuação mais integrada das instituições. A evolução pode ser dividida em três fases, conforme resumo a seguir:

- de 1996 até o ano 2001, a maior preocupação dos Tribunais era estabelecer padrões para as auditorias de obras, enquanto que os sistemas de informação ainda não estavam em evidência (DAYRELL, 1996; MARQUES, 1997; Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas - IBRAOP, 2000, p. 1-3; OLIVEIRA JÚNIOR, 2000);

²⁹ As principais fontes de consulta para análise das aplicações no país foram os anais dos Simpósios Nacionais de Auditoria de Obras Públicas e dos Encontros Nacionais de Auditoria de Obras Públicas. Esses eventos são organizados pelo Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas (IBRAOP), que é uma sociedade civil de direito privado sem fins lucrativos, de âmbito nacional, constituído por profissionais de engenharia, arquitetura e agronomia. Foram analisados documentos referentes aos anos de 1996 a 2013, correspondentes a 27 eventos que ocorreram nesse período.

- de 2002 até 2007, os sistemas de informação convencionais, não ainda os SIG, passaram a ser reiteradamente apresentados como alternativa para acompanhamento das obras, sendo apontados como uma ferramenta essencial. As geotecnologias começaram a ser aproveitadas, mas de forma discreta (AULTONIAN; MENDES, 2001, p. 11 e 12; FERNANDES; COSTA, 2006, p. 8–11; GOMEL; COELHO; FERNANDES, 2003, p. 4; IBRAOP, 2003, p. 3; ROLIM; DINIZ; PEREIRA, 2005, p. 2 e 3; ROTTA; STOLFO; MARIANI, 2002, p. 2 e 3; TCE-MT, 2002); e
- de 2008 até 2013, as geotecnologias passaram a ser utilizadas com frequência, com destaque para GNSS e SIG, sendo o primeiro de maneira mais sistemática e consolidada. Com menos intensidade, tem-se o sensoriamento remoto (BAETA, 2010; CAVALCANTI, 2013; FERRAZ *et al.*, 2015; GOMEL; REINALDIM, 2013; KUROKAWA; HOLANDA JÚNIOR, 2010).

Levantado o histórico de evolução das auditorias de obras, passa-se à análise específica do panorama de utilização das geotecnologias, com enfoque nas aplicações de SIG. Além de revisão de literatura, foram acessados e analisados os SIG constantes dos sítios eletrônicos de 28 Cortes de Contas do Brasil, sendo todos os 26 Tribunais de Contas estaduais, mais o Tribunal de Contas do Distrito Federal e o Tribunal de Contas da União. Essas consultas foram conduzidas entre junho de 2013 e setembro de 2014. Além da obtenção de informações teóricas sobre os respectivos SIG nos normativos regulamentadores, efetuaram-se testes práticos e pesquisas específicas nos sistemas. Objetivou-se identificar, entre outros: quais análises podem ser realizadas; quem tem acesso; se os bancos de dados estão alimentados e atualizados; e se há previsão para incrementar as funcionalidades.

As informações reunidas para cada Corte de Contas foram tabeladas, com as seguintes colunas: nome do sistema; *link* de acesso; descrição do sistema; tipos de análises possíveis de realização; quem tem acesso ao sistema; resoluções normativas; data de início da implantação; previsão para incrementar o sistema; possibilidades de aprimoramento; previsão para coleta periódica de dados; data da análise; fontes de informações utilizadas; e comentários adicionais.

Como resultado dessas verificações, cada Tribunal foi classificado conforme os seguintes critérios de utilização de SIG:

- implantado/ em implantação: considerou-se essa situação quando o SIG foi objetivamente identificado. Optou-se pela classificação “implantado/ em implantação”, tendo em vista que, em alguns casos, em que pese o sistema encontrar-se implantado, observou-se a ausência sistemática de dados (obras não cadastradas, ausência de dados, ausência de

documentação, ausência de fotos etc.). Considerou-se que essa situação configura que o sistema está implantado de direito, mas ainda não está de fato;

- em fase de estudos: quando foram identificadas ações para implantá-lo, mas o mesmo não foi objetivamente localizado; e
- não possui: quando não foi identificada a existência de SIG (considerando a consulta ao sítio eletrônico e aos artigos técnicos).

Essa classificação foi adotada para possibilitar a obtenção do panorama geral da utilização no Brasil. As informações levantadas foram reunidas e tabeladas, possibilitando-se analisá-las criticamente. Com base na revisão de literatura e na análise das informações levantadas nos sítios eletrônicos, apontam-se oportunidades para novas aplicações nas auditorias de obras, inclusive por meio de *benchmarking* com aplicações na gestão ambiental e de recursos hídricos.

Uso de GNSS

Verificou-se sua frequente aplicação para conferência de medições planimétricas *in loco*, principalmente para serviços lineares, como construção de estradas, pavimentação, adutoras, redes de distribuição de água, coletores de esgoto e drenagem urbana (BAETA, 2010, p. 45, 46 e 49; CAVALCANTI, 2013, p. 26, 27, 80 e 81; ROLIM; DINIZ; PEREIRA, 2005, p. 2 e 3). O TCE-PB, por exemplo, definiu metodologia para utilização de aparelhos de GPS na aferição de quantitativos a depender do tipo de serviços executado (CAVALCANTI, 2013, p. 89–132).

Entende-se que o baixo preço, facilidade de manuseio, maior praticidade em relação a conferências com auxílio de topografia e precisão satisfatória contribuíram para disseminação da prática. Para distâncias isoladas superiores a 60 metros, por trecho medido, a aplicação de GNSS de navegação apresenta resultados satisfatórios. Os erros relativos esperados são inferiores a 5% do valor medido, diminuindo de forma inversamente proporcional com o aumento da dimensão medida, pois o erro absoluto se mantém constante, entre 3 e 10 metros (CAVALCANTI, 2013, p. 84).

Seu uso deve continuar em expansão para aferições de medições planimétricas, tendo em vista a praticidade e a margem de erro aceitável, sobretudo para serviços lineares. Não foram identificadas aplicações de GNSS diferencial pelos órgãos de controle, inferindo-se que não se trata de prática sistematicamente adotada. Esperam-se aplicações também para medições altimétricas. Tecnicamente há potencial para ser aproveitado para esses fins, desde que seja utilizado GNSS diferencial, que é mais caro e exige mais treinamento. Seu uso pode ser justificável em conferências de elevados volumes de escavação, por exemplo.

Uso de sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto também se apresenta como uma tendência para as ações de controle em obras públicas, em que pese tratar-se de tecnologia menos utilizada na área, que necessita de aprimoramento de metodologias antes da maior utilização no controle externo. Sua utilização é mais incipiente e ainda experimental no setor. Aplicações para aferição de quantitativos com auxílio de imagens de satélite são mais isoladas (FERRAZ *et al.*, 2015; KUROKAWA; HOLANDA JÚNIOR, 2010). Observam-se também aplicações específicas de VANT, mas de maneira pontual e com caráter mais experimental (FERRAZ *et al.*, 2015; TECNOMAPAS, 2016).

Para acompanhamento remoto das obras, o sensoriamento remoto por satélite apresenta certas limitações relativas às resoluções espaciais, temporais e custo, além de carência de metodologias validadas cientificamente. Lembra-se que as imagens do *Google Earth* devem ser usadas com cautela, pois são formadas por recortes de imagens e a data de cada um desses recortes deve ser observada antes da utilização. Aplicações como o sistema de monitoramento de obras do PAC, pela EMBRAPA, ilustram o potencial para as auditorias (DALCIO *et al.*, 2013; HOLLER, 2011; MIRANDA, 2009). Lee *et al.* (2016) também demonstraram interessante aplicação, em que imagens de satélite foram utilizadas para identificação de ocupações irregulares em áreas públicas na Coreia do Sul.

Como perspectiva futura, aponta-se elevado potencial do sensoriamento remoto para monitoramento com imagens de satélite, como também por meio de VANT. Frisa-se que o processamento de imagens para a mosaicagem com VANT é não trivial e exige cuidados na sua obtenção, principalmente se a informação espacial for relevante no contexto.

Uso de sistema de informações geográficas

Considerando que vários Tribunais disponibilizam na internet acesso aos seus SIG, foi possível uma verificação mais detalhada quanto às aplicações dessa geotecnologia. O panorama de utilização nos 28 Tribunais pesquisados consta da Tabela 3. O Apêndice A contempla algumas tabelas de apoio utilizadas (Apêndice A - Utilização de SIG pelos Tribunais de Contas do Brasil).

Tabela 3 - Utilização de SIG no controle externo de obras públicas no Brasil

Situação	Quantidade	%
Implantado/ Em implantação	10	35,7%
Em fase de estudos	4	14,3%
Não possui	14	50,0%
TOTAL	28	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em 35,7% dos casos foi constatada a existência de SIG, em que pese a identificação de inconsistências em alguns deles, motivo pelo qual a situação foi classificada como “Implantado/ Em implantação”, conforme critérios já descritos.

A maior parte das Cortes de Contas não utiliza de forma sistemática a tecnologia. Em 64,3% delas não foi identificada a existência de SIG para suporte à fiscalização de obras públicas, considerando as que não possuem e as que estão em fase de estudos.

Sob outra perspectiva, os dados apresentados na Tabela 3 mostram também que 50,0% dos Tribunais já se utiliza ou está em vias de, considerando as situações em que a implantação dos SIG está em fase de estudo, em implantação ou já implantados. Observa-se, portanto, uma tendência da sua maior utilização. Outro fato que corrobora com esse prognóstico é que foi observado que a maior parte dos Tribunais tem normativos que determinam aos jurisdicionados o encaminhamento, periódico, de dados sobre as obras em andamento. Constatou-se que, em 78,6% dos casos, há normativos estabelecendo essa obrigação. Desse modo, já se tem estabelecido uma importante etapa caso decida-se pela implantação de um sistema de informações geográficas, que é a etapa de coleta de dados.

A situação encontrada demonstrou que a utilização pelos Tribunais é desuniforme. Ao mesmo tempo em que foram identificados trabalhos bem-sucedidos, em outros casos, não foram constatadas quaisquer iniciativas para aproveitamento da tecnologia. Essas divergências mostram-se parcialmente aderentes às conclusões alcançadas por Santos *et al.* (2013, p. 740). Em avaliação dos padrões *web* em governo eletrônico dos Tribunais de Contas Brasileiros, os autores concluíram pela ausência de padrão nos sítios eletrônicos.

Entre os primeiros SIG implantados no país, destaca-se o Geo-Obras, no âmbito do TCE-MT, em 2008 (TCE-MT, 2008). Esse sistema foi utilizado como modelo por outros Tribunais, que iniciaram tratativas para implantação de sistemas idênticos, como foi o caso do Espírito Santo, Minas Gerais e Goiás. Os sistemas dos Tribunais de Contas da Paraíba, Rondônia e Piauí também são parecidos com o Geo-Obras-MT. O sistema do Distrito Federal apresenta uma formatação diferente dos demais. Já os sistemas do TCE-PR e TCE-RJ têm aplicações bem específicas. O uso por parte do Tribunal de Contas do Paraná é mediante acordo de cooperação com o CREA para realização de trabalhos conjuntos, a exemplo de fiscalização de obras paralisadas e fiscalização de obras depois de concluídas, com enfoque na qualidade e acessibilidade. O sistema do TCE-RJ presta-se a visualizar ações de controle no âmbito da Olimpíada Rio 2016.

Como regra, os SIG têm como objetivo principal formar um banco de dados sobre os contratos de obras e serviços de engenharia e disponibilizar os dados à sociedade, potencializando o controle

social. Os jurisdicionados devem prestar informações via internet, cadastrando as obras logo após a divulgação do edital de licitação e registrando, periodicamente, os eventos ocorridos e o andamento dos contratos. Os SIG são alimentados com dados declaratórios. A quantidade, forma e periodicidade variam, abrangendo desde a etapa de licitação até a conclusão da obra. Em que pese a presunção de que os dados são corretos, deve-se atentar quanto à sua confiabilidade (INTOSAI, 2013; KIM; MARSHALL; PAL, 2014, p. 188; RENTENAAR; WILLIAMS-BRIDGERS, 2006).

Em geral, os SIG abrangem três módulos: Jurisdicionados, Auditores/Parceiros e Cidadão, além do perfil de Administrador, para funções específicas. Verificou-se que a maior parte dos dados está disponível para a sociedade. Apenas em algumas situações, determinados dados e consultas são restritos aos auditores. Para consulta aos dados disponíveis, com apoio de filtros, selecionam-se as obras de acordo com uma série de dados, tais como: data de início, tipo, situação da obra, contrato, órgão público responsável, município e empresa contratada. A disponibilização das informações na internet é um estímulo ao controle social (DELIPETREV; JONOSKI; SOLOMATINE, 2014; DUBA; DI MAIO, 2014; HORITA *et al.*, 2015; MEDEIROS *et al.*, 2013).

Depois de selecionada a obra, é possível o acesso aos dados e documentos cadastrados, tais como: descrição da obra; tipo de licitação; situação da obra; responsáveis pela fiscalização e execução; dados do contrato; empresa contratada; dados de execução da obra (data de início, medição acumulada, prazo aditado e prazo de término); edital de licitação; contrato; planilha orçamentária; planilha dos preços contratados; cronograma; contrato; ordem de serviço; Anotação de Responsabilidade Técnica (ART); planilha de medição; fotos da obra; e localização no *Google Earth* (as obras são locadas apenas como um ponto, mesmo no caso de obras lineares). Existe também a possibilidade de apresentação de denúncias *online*.

Caso corretamente alimentados, esses SIG podem responder várias questões relevantes, seja na ótica dos responsáveis pela execução, pelo controle ou à sociedade em geral (DELIPETREV; JONOSKI; SOLOMATINE, 2014; DUBA; DI MAIO, 2014; FERREIRA; DUARTE, 2006; HAX, 2003; KIM; MARSHALL; PAL, 2014; NORWAY, 2010; SALBEGO; GIOTTO; MADRUGA, 2006; SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2013).

Apesar da variedade de dados previstos, a maior parte dos sistemas consultados ainda não se encontrava implantado de forma plena. Como principais problemas, constataram-se ausência e desatualização de dados, em que pese a existências de normativos determinando a atualização periódica. Ademais, em várias situações, constatou-se ausência, no banco de dados, de obras existentes. As Cortes devem empreender esforços para exigir o cumprimento dos seus normativos.

Por contemplar dados desde a licitação até a conclusão das obras, os SIG servem também de orientação aos gestores quanto aos procedimentos a serem seguidos. Os Tribunais adotam, dessa forma, uma postura mais pedagógica, tal como requerido por Arantes, Abrucio e Teixeira (2005).

Com relação à utilização e tratamento de imagens de satélites, nada de relevante foi observado. Em geral, os SIG utilizam imagens do *Google Earth* como pano de fundo. Caberia aos Tribunais explorar mais o sensoriamento remoto, podendo testar aplicações como as apresentadas por Miranda (2009), Holler (2011) e Daltio *et al.* (2013).

Diversas Cortes fazem uso e demonstram avanços proporcionados pela implantação do SIG. No entanto, o aproveitamento dessa geotecnologia ainda é mais focado como BDG. Não foi identificada utilização sistemática de SIG na integração, cruzamento de dados, sobreposição de camadas e aplicação de estatística espacial, inferindo-se que não são práticas sistematicamente implementadas. Verificam-se discrepâncias quando comparadas as aplicações nas auditorias de obras com outras áreas de conhecimento, como diretamente na gestão ambiental e de recursos hídricos, em que análises espaciais avançadas são utilizadas.

Há iniciativas no âmbito das Cortes de Contas para integrar diferentes fontes de informação, mas ainda em estágio incipiente, tal como se observa em Gomel e Reinaldim (2013) e Souza *et al.* (2015). No primeiro caso, a utilização compartilhada de bases de dados do TCE-PR e do CREA possibilitou a fiscalização de 712 obras paralisadas. No segundo, no âmbito do TCU, viabilizou-se o acompanhamento a distância de 142 obras de esgotamento sanitário. Trabalhos como esses podem ser aprimorados com uso mais intensivo das geotecnologias. Por exemplo, análises espaciais e aplicação de modelos matemáticos, como proposto por Benedini (2011), Barros, Sobral e Gunkel (2013) e Fan, Collischonn e Rigo (2013), trariam indicativos mais precisos dos riscos de poluição de recursos hídricos mencionados por Souza *et al.* (2015).

Uma vez equacionadas dificuldades práticas quanto à interoperabilidade, ganham destaque também as análises multicritério, tanto para avaliações mais amplas de políticas públicas, como também para projetos específicos. A aplicação de técnicas como interpoladores de densidade, ajudariam na elaboração de mapas mais sofisticados, trazendo benefícios para identificação de padrões de distribuição espacial e comportamento.

Aplicações de sensoriamento remoto, como as apresentadas por Rasi *et al.* (2011), Beuchle *et al.* (2011) e Suarez e Candeias (2014), poderiam ser aproveitadas nas auditorias, na avaliação de programas relacionados à recuperação de áreas degradadas ou revitalização de bacias hidrográficas.

Modelos matemáticos, como descritos por Cavalcanti, Tavares Júnior e Candeias (2013) e Ribeiro Neto *et al.* (2015), podem servir para os Tribunais avaliarem os critérios adotados pelo Poder Executivo para priorização de investimentos em drenagem urbana ou saneamento básico.

Análises multicritérios e estudos de correlação, tais como Keser, Duzgun e Aksoy (2012), Cordão, Rufino e Araújo (2013), Freire e Castro (2014) e Souza *et al.* (2014), podem servir para avaliar se os traçados das obras seguiram critérios técnicos adequados, ou ainda, para buscar variáveis explicativas para fenômenos de maior interesse.

Comparando-se os exemplos de utilização das geotecnologias demonstradas no Normativo ISSAI 5540 (INTOSAI, 2013) com aplicações encontradas no Brasil, observam-se que os Tribunais de Contas do Brasil estão relativamente aderentes com o contexto internacional.

A integração de bases de dados governamentais mostra-se de grande relevância, na medida em que possibilita uma visão abrangente da situação das obras em determinadas regiões de interesse. Aponta-se também como desafio uma maior comunicação entre os sistemas dos próprios Tribunais de Contas. Existe uma série de informações possíveis de serem obtidas e geradas de forma remota, a partir da integração de bases já existentes. Podem-se agrupar dados sobre localização das obras, valor dos contratos, licenciamento ambiental, execução físico-financeira etc.

Com esses dados integrados, viabilizam-se análises espaciais mais avançadas, buscando-se padrões de distribuição. Algumas questões que podem ser respondidas são: os critérios para priorização dos investimentos são adequados? Os investimentos estão sendo realizados nas áreas com maior carência? Há obras sendo executadas sem licenciamento ambiental? Quais são as condicionantes ambientais? Como estão os cronogramas de execução das obras? Qual o tempo de duração das obras? Há áreas com maior concentração de obras paralisadas? Onde estão os maiores investimentos? Há concentração de investimentos em alguma área geográfica?

O recebimento de dados periódicos e a utilização de SIG abrem caminho para novos avanços, pois permitem a realização de auditorias contínuas com aplicação de SIG. Ressalta-se que, na revisão de literatura realizada, não foram identificados trabalhos dessa natureza. Na mesma linha apontada por INTOSAI (2013), as geotecnologias precisam fazer parte da cultura das auditorias, passando-se a analisar não apenas questões relacionadas à legalidade de ações realizadas, mas também na redução de riscos e prevenção de erros futuros com análises preditivas.

Os desafios estão relacionados a aplicações de SIG de forma mais sistemática, para gerenciamento de dados de diferentes fontes e análises espaciais mais complexas, com elaboração de mapas temáticos, sobreposição de camadas, indicadores, estatística espacial e monitoramento por imagens

de satélite, além de *Big Data Analytics*³⁰ e computação em nuvem. Os SIG têm grande potencial para suporte ao planejamento, execução e relatório das auditorias, em especial no caso de auditorias operacionais ou fiscalizações de orientação centralizada (FOC) envolvendo grande número de obras. Faltam estudos acadêmicos na área que forneçam subsídios e mais embasamento científico a respeito.

2.4.5 Importância do controle das obras de esgotamento sanitário

Para obter um panorama dos principais problemas de gestão de obras de esgotamento sanitário, foi feito um levantamento das principais irregularidades historicamente encontradas. Realizou-se pesquisa bibliográfica e documental, tendo como principais referências:

- Acórdão n. 402/2011-Plenário (TCU, 2011b): tratou da consolidação de 34 auditorias em obras de saneamento e habitação executadas mediante convênios com o Ministério das Cidades; e
- Acórdão n. 1.764/2013-Plenário (TCU, 2013e): tratou da consolidação de 20 auditorias em obras de saneamento básico executadas com convênios da FUNASA.

As irregularidades apontadas nessas referências foram tabeladas e analisadas considerando o tipo de irregularidade e a frequência de ocorrência. Da comparação e análise dos dados tabelados, foram elencadas 335 irregularidades encontradas em inspeções *in loco* realizadas em 54 convênios federais. Após agrupadas as irregularidades relacionadas entre si, obteve-se a distribuição de frequência desses grupos, possibilitando uma visão geral da situação.

Conforme consta no Quadro 5, considerando as ocorrências com maior frequência e de maior gravidade, seis grupos de irregularidades representam 70% dos problemas. Os outros 30% são impropriedades de caráter mais formal, ou outras que apareceram com menor frequência. A coluna “F (%)” refere-se à frequência relativa de ocorrência das irregularidades, (número de ocorrência das irregularidades dividido pelo número total de irregularidades encontradas). O Apêndice B contempla tabelas de apoio (Apêndice B - Irregularidades em obras de esgotamento sanitário).

Ainda com relação ao Quadro 5, esclarecem-se dois pontos em especial. O primeiro é com relação a um trabalho específico relacionado ao ritmo de andamento das obras (TRATA BRASIL, 2014). O Instituto Trata Brasil acompanhou 149 obras de esgoto com recursos do PAC, concluindo que 58% delas estavam atrasadas, paralisadas ou sequer tinham sido iniciadas. Essa informação apresenta aparente contradição com os dados apresentados no quadro quanto aos atrasos de cronograma. Porém, em uma análise mais detalhada dos documentos que embasaram a elaboração desse quadro, percebe-

³⁰ O conceito de *Big Data Analytics* refere-se às ferramentas de análise de *Big Data*.

se que o foco das auditorias não foi relacionado aos cronogramas propriamente, razão pela qual esse tipo de irregularidade teve uma frequência mais baixa. O segundo ponto é com relação aos problemas de natureza ambiental. Uma análise mais detalhada dos documentos que embasaram a elaboração do Quadro 5 revela que problemas referentes ao licenciamento ambiental ocorreram em 24% das obras, em que pese a menor frequência em relação ao total de irregularidades.

Quadro 5 - Principais irregularidades em obras públicas de esgotamento sanitário

Grupo de irregularidades	Descrição resumida	F (%)
Fiscalização deficiente	Adiantamento de pagamentos, execução de serviços com qualidade deficiente, ausência de termo aditivo formalizando alterações nas condições pactuadas e sub-rogação de contrato.	18
Restrição à competitividade da licitação	Critérios de habilitação e de julgamento inadequados, falhas na publicidade do certame e julgamento irregular dos recursos interpostos.	18
Projeto deficiente ou desatualizado	Inexistência de estudos preliminares, levantamentos inadequados de quantitativos, detalhamento insuficiente dos projetos e/ou orçamentos.	17
Superfaturamento	Pagamentos por serviços não executados ou por serviços com preços elevados.	8
Atraso injustificado no cronograma	Atrasos sem justificativa adequada, inadequação das providências adotadas para sanar interferências que possam provocar o atraso e valor do convênio insuficiente para conclusão das obras.	5
Licenciamento ambiental deficiente	Obra sem licença de instalação, licença vencida e não atendimento das condicionantes ambientais.	4
Subtotal		70

Fonte: Elaborado pelo autor com base em TCU (2011b, 2013e).

As causas variam desde deficiência de pessoal e de capacitação técnica até casos de fraude. Citam-se como exemplos: deficiência de planejamento e estrutura da administração pública; projetos elaborados às pressas e sem detalhamento; defasagem de orçamento; restrições orçamentárias; processo licitatório inadequado; deficiência nos controles internos; utilização dos recursos em fins diversos do objeto conveniado; e cronograma de execução pouco detalhado (TCU, 2011b, 2013e).

As consequências são sempre contrárias ao interesse público e abrangem: depredação da obra antes mesmo do início de operação; não atingimento dos objetivos sociais e ecológicos almejados;

desperdício de recursos públicos; e obras inacabadas. Destaca-se ainda a degradação ambiental em função da não conclusão das obras e consequente ausência de coleta e tratamento de esgoto.

A prestação adequada dos serviços de esgotamento sanitário é fundamental para a promoção do desenvolvimento sustentável. Por outro lado, ainda há elevado déficit na coleta e tratamento de esgoto no país. Os desafios do setor devem ser encarados como prioridade, caso contrário, a precária prestação desses serviços perdurará por longo período.

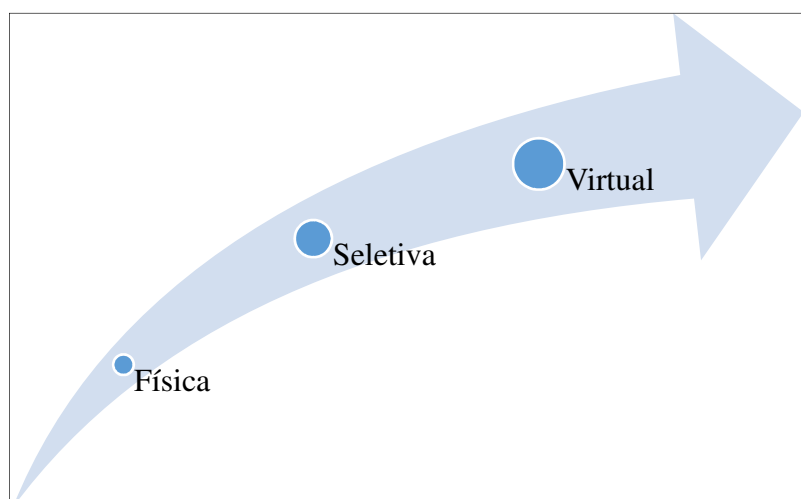
Cabe à União incentivar a diminuição do déficit, buscando maior equidade social e territorial. Há previsão de vultosos investimentos federais no setor, o que não significa que os problemas estarão resolvidos. Historicamente o país tem problemas no atingimento dessas metas, devido, entre outros, à má gestão das obras, comprometendo a conclusão dos empreendimentos e seus benefícios.

Modelos alternativos de controle despontam como opção para contribuir para o aprimoramento da gestão das obras. Devem ser desenvolvidos novos modelos de atuação, para que os responsáveis desempenhem suas funções de maneira mais preventiva, seletiva e integrada, possibilitando também articular aspectos ecológicos, sociais e econômicos nas análises.

Em momento anterior, o controle era centrado em trabalhos de campo, com a realização das inspeções físicas. Com o passar do tempo, o planejamento ganhou mais importância, tornando os trabalhos de campo mais seletivos, mas ainda com foco nas inspeções *in loco*. Uma tendência mais atual é trabalhar previamente com bases de dados, permitindo a obtenção de informações que antes não eram geradas.

O controle a distância justifica-se para as obras de esgoto diante da previsão de elevada quantidade de obras nos municípios carentes da infraestrutura e das dificuldades práticas de acompanhá-las apenas com inspeções. A evolução no modo das auditorias está esquematizada na Figura 24.

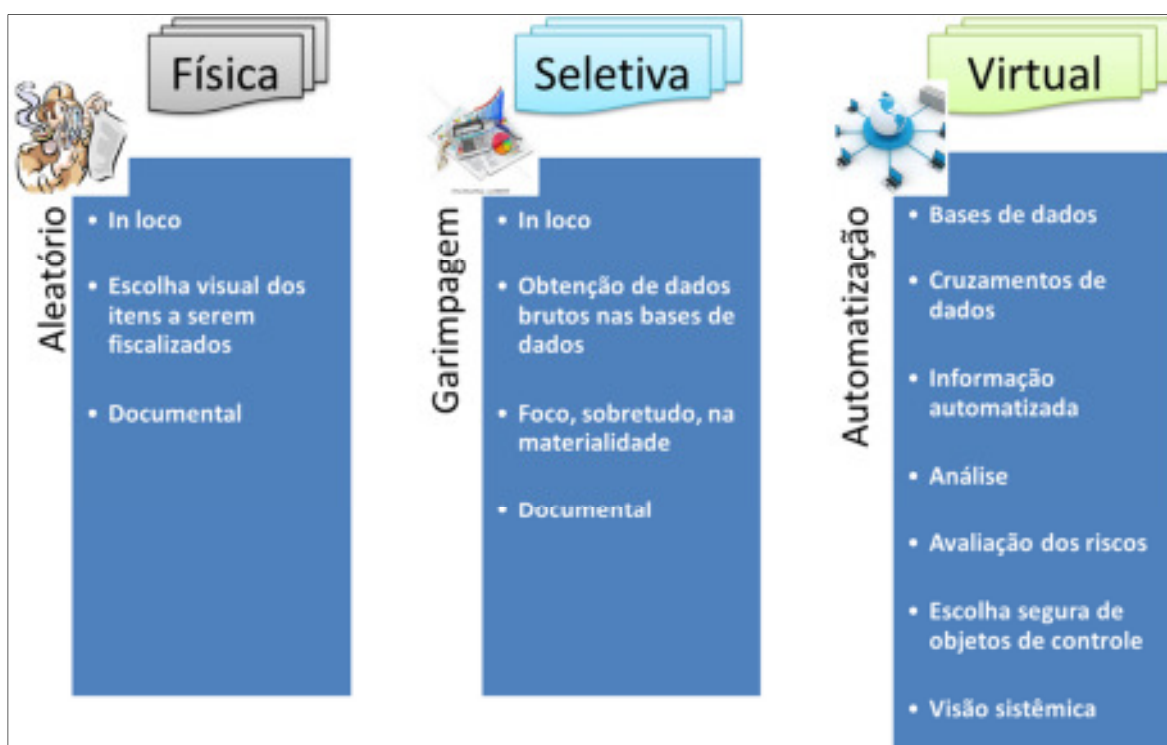
Figura 24 - Evolução no modo de realização das auditorias



Fonte: Leite (2014).

Quando o controle é realizado sem o devido planejamento, a definição dos procedimentos e objetos a serem avaliados é feita no momento dos trabalhos de campo, tornando essa seleção quase que aleatória. Quando se passa por um processo mais detalhado de planejamento, com garimpagem e tratamento de dados coletados previamente, o controle passa a ser mais seletivo e esperam-se melhores resultados. As auditorias virtuais fazem uso intensivo de recursos de tecnologia da informação, utilizando bases de dados existentes e aplicando, de forma automática, testes de auditoria. Desenho esquemático das abordagens descritas consta da Figura 25.

Figura 25 - Evolução da abordagem nas auditorias



Fonte: Adaptado de Leite (2014).

O controle virtual inclui as chamadas auditorias contínuas, caracterizadas como um processo contínuo e automático de verificação, possibilitando identificar eventuais anomalias, para então se adotarem procedimentos específicos e análises mais detalhadas (CHAN; VASARHELYI, 2011; COSTA, 2012; JANS; ALLES; VASARHELYI, 2013; MOTTA JÚNIOR, 2010).

Depois de coletados e tratados os dados, analisam-se os resultados e obtém-se informações para controlar a distância os empreendimentos. Com abordagens dessa natureza, esperam-se obter, remotamente, informações sobre inúmeras obras, podendo acompanhá-las com avaliação simultânea de vários parâmetros. Alcança-se uma visão sistêmica das obras e, ao mesmo tempo, possibilitam-se identificar aquelas com maior risco da ocorrência de problemas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo contém caracterização da área de estudo, incluindo motivação para escolha dos municípios estudados, e a metodologia empregada na pesquisa.

3.1 Área de estudo

A área de estudo é composta por 399 municípios dos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, correspondente a 22% da quantidade de municípios do Nordeste e 7% do Brasil, com população de 12,4 milhões de habitantes. A análise envolveu 142 convênios federais relacionados a obras de esgotamento sanitário nesses municípios. Esses municípios estão relacionados ao Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF). O PISF é um empreendimento em execução pelo Governo Federal, cujo objetivo é assegurar a oferta de água à população, com a construção de dois canais que levarão água do rio São Francisco para os quatro estados.

Como critério para escolha dessas obras como objeto do estudo considerou-se que:

- há previsão para execução de significativa quantidade de obras de esgoto na região, possibilitando a análise de um número maior de empreendimentos quando da aplicação experimental do modelo;
- no âmbito da UFPE, encontrava-se em andamento o Projeto *Interplay Among Multiple Uses of Water Reservoirs via Innovative Coupling of Substance Cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems* (INNOVATE). A inserção da presente tese no âmbito do INNOVATE possibilitou um ambiente de troca de informações e discussões científicas, além de suporte administrativo; e
- no âmbito do TCU, entre 12/5/2014 e 31/3/2015, foi realizada auditoria operacional nessa área de estudo, com objetivo de contribuir para a melhoria da governança das obras de esgotamento sanitário, mediante diagnóstico e análise da situação dessas obras e identificação dos problemas e gargalos para conclusão das mesmas. A auditoria viabilizou a coleta e tratamento dos dados, reuniões técnicas, *workshops*, inspeções *in loco* etc.

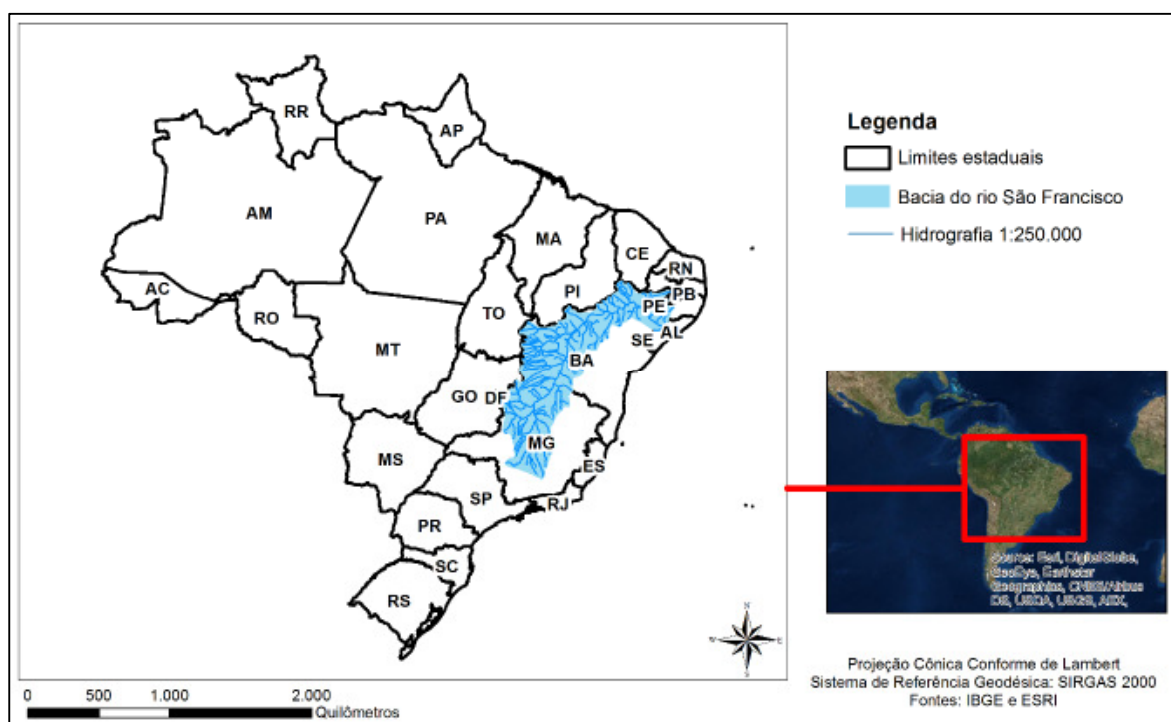
3.1.1 Bacia hidrográfica do rio São Francisco

O rio São Francisco nasce na Serra da Canastra-MG e deságua no oceano Atlântico, na divisa de Alagoas e Sergipe. Seu curso pode ser dividido em quatro trechos: alto São Francisco, até a confluência com o rio Jequitaiá, em Minas Gerais; médio São Francisco, onde começa o trecho

navegável e segue até a barragem de Sobradinho-BA; e submédio e baixo, entre Sobradinho e sua foz (ECOLOGY BRASIL; AGRAR; JP MEIO AMBIENTE, 2004a, p. 13 e 14).

Sua extensão é de cerca de 2.800 km, acessando cinco estados (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas) e sua bacia hidrográfica abrange mais duas unidades administrativas (Goiás e Distrito Federal). A área total da bacia é de 634 mil km², composta por 505 municípios, com população de 18,2 milhões de habitantes (CODEVASF, 2012). O rio recebe água de 168 afluentes, dos quais 99 são perenes. A produção de água na bacia é concentrada nos cerrados do Brasil Central, entre sua nascente e o município de Carinhanha, na divisa de Bahia e Minas Gerais. A grande variação na quantidade de água que os afluentes despejam no rio é consequência das diferenças climáticas entre as regiões drenadas pelo rio. A bacia do rio São Francisco está representada na Figura 26.

Figura 26 - Bacia hidrográfica do rio São Francisco



Fonte: Elaborado pelo autor.

As chuvas que caem na bacia e chegam ao rio variam muito de volume ao longo do percurso. A média anual vai de 1.900 mm na nascente, em Minas Gerais, a 400 mm no Semiárido Nordestino. A evaporação potencial, ao contrário, vai de 500 mm anuais, nas nascentes, a 2.200 mm, em Petrolina, perto da fronteira da Bahia com Pernambuco. Essa elevada evaporação dificulta a manutenção de água nos açudes que não são abastecidos por rios perenes.

A maior parte das águas do rio vem de Minas Gerais, mas o São Francisco só pode garantir uma grande oferta de água após a represa de Sobradinho. A barragem foi planejada para regularização, objetivando a geração de energia hidrelétrica nas usinas de Sobradinho, Itaparica, Complexo Paulo

Afonso e Xingó durante todo o ano. A vazão regularizada na foz é de 1.850m³/s, enquanto que a vazão média é de 2.700m³/s. A água atende a diversos usos, com destaque para geração de energia elétrica e irrigação, tanto em perímetros públicos quanto em propriedades privadas (ECOLOGY BRASIL; AGRAR; JP MEIO AMBIENTE, 2004a, p. 14 e 17).

É um rio fundamental para o desenvolvimento da região, em face da sua extensa área de influência, população envolvida e importância econômica. No âmbito dos projetos estruturantes existentes na bacia, destaque para o Projeto de Integração do São Francisco.

3.1.2 Projeto de Integração do rio São Francisco

O PISF é um empreendimento sob a responsabilidade do Ministério da Integração Nacional (MI), com objetivo de beneficiar 390 municípios nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, assegurando a oferta de água para 12 milhões de habitantes. O investimento previsto é de R\$ 8,2 bilhões. As obras foram iniciadas em 2007 e, em 29/2/2016, apresentavam 84,4% de execução física, estando algumas estações de bombeamento já em operação, e outros trechos previstos para início de operação em dezembro de 2016 (MI, 2016).

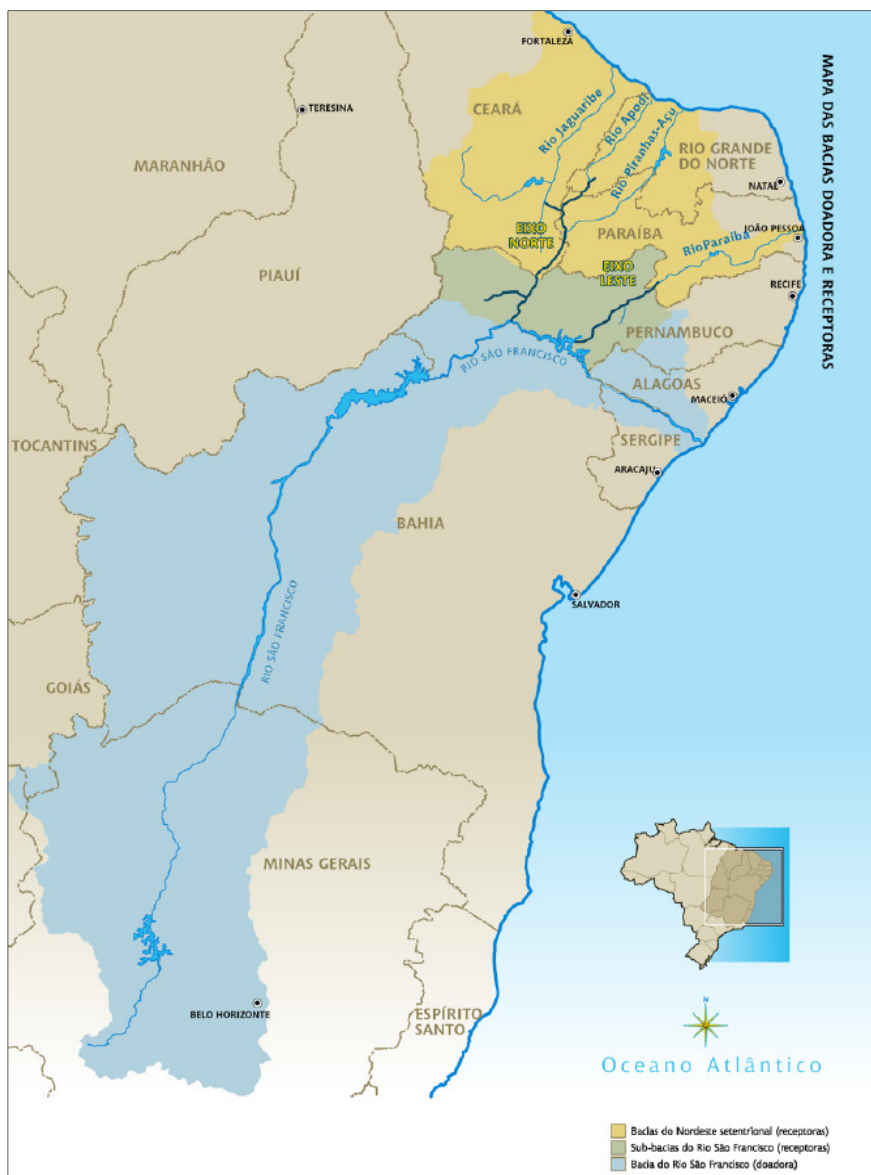
O projeto é composto por dois canais principais, o Eixo Norte e o Eixo Leste, que percorrerão 720 km, quando da completa conclusão do empreendimento (ECOLOGY BRASIL; AGRAR; JP MEIO AMBIENTE, 2004a, p. 37 e 38). As obras em execução ainda não abrangem a totalidade do projeto. Os dois eixos e as bacias receptoras estão representados na Figura 27 (em amarelo, as bacias receptoras; em azul, a bacia do São Francisco).

Na elaboração do EIA foram consideradas três unidades de análise: área de influência indireta; área de influência direta (AID); e área diretamente afetada. A AID refere-se aos municípios situados em uma faixa com largura média de 50 km ao longo dos eixos hídricos. Conceitualmente, é definida como a área sujeita aos impactos diretos da implantação e operação do empreendimento. Sua delimitação foi função das características sociais, econômicas, físicas e biológicas e das características do empreendimento. O EIA apontou 86 municípios como integrantes da AID (ECOLOGY BRASIL; AGRAR; JP MEIO AMBIENTE, 2004b). A implantação de SES nessa área, além de mitigar riscos de poluição das águas da transposição, também tem influência quanto a melhorias na saúde pública. Em testes experimentais, identificaram-se alguns municípios com distância menor do que 50 km dos eixos hídricos, mas esse critério de projeto e a relação de municípios da AID não foram objeto de análise crítica no âmbito desta pesquisa.

O Eixo Norte terá sua captação nas proximidades de Cabrobó-PE, enquanto que a do Eixo Leste será no reservatório da barragem de Itaparica. É prevista retirada contínua de 26,4 m³/s de água, sendo

16,4 m³/s para o Eixo Norte e 10 m³/s para o Leste. Em períodos de escassez nas bacias receptoras e de abundância no rio São Francisco, as vazões poderão atingir até 99 m³/s e 28m³/s³¹ respectivamente.

Figura 27 - Eixos do Projeto de Integração do rio São Francisco



Fonte: Ecology Brasil, Agrar e JP Meio Ambiente (2004a, p. 29).

Além dos benefícios da transposição das águas em si, o projeto prevê uma série de medidas complementares, a exemplo de ações quanto ao saneamento básico. Isso se justifica porque, nos municípios a serem beneficiados, há carências sanitárias, em especial falta de coleta e tratamento de esgoto, podendo resultar em poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, expondo a

³¹ As bacias dos seguintes rios receberão as águas do PISF: Jaguaribe (CE), Apodi (RN), Piranhas-Açu (PB-RN), Paraíba (PB), Moxotó (PE) e Brígida (PE), sendo essas duas últimas sub-bacias do próprio rio São Francisco.

população aos riscos de doenças. Além disso, os despejos de esgotos sanitários nos corpos d'água relacionados ao PISF poderão comprometer a qualidade de suas águas (MI, 2010, p. 11).

É um projeto de infraestrutura hídrica de grande porte, com elevada complexidade ecológica, social e altos valores de investimento, demandando cuidados adicionais para maximizar seus benefícios esperados. Para isso, entre as diversas medidas previstas, tem-se a implantação de SES nos municípios relacionados ao projeto, em especial nas situações em que despejos de esgoto nos corpos d'água poderão comprometer a qualidade das águas. O lançamento dos efluentes *in natura* em corpos d'água é um dos maiores fatores de degradação da qualidade das águas (ANA, 2010, p. 14 e 58–60). A importância da coleta e tratamento de esgoto nos municípios das bacias receptoras foi mencionada em diversos pontos das análises ambientais, sendo apontado como fator que pode prejudicar os benefícios do projeto (IBAMA, 2005, p. 18, 2007, p. 77 e 78).

3.1.3 Municípios da área de estudo

A área de estudo é composta pelos 390 municípios que serão beneficiados pelo PISF, acrescidos aos situados na AID. Apenas nove municípios da AID não serão beneficiados pelo PISF, mas, por estarem inseridos nessa área, foram incluídos no estudo, totalizando 399 municípios, com população de 12,4 milhões. Um sumário do quantitativo de municípios por estado é apresentado na Tabela 4. No Apêndice C consta a lista completa, incluindo dados sobre população, percentual de coleta e tratamento de esgoto etc. (Apêndice C - Municípios da área de estudo). A relação desses municípios foi extraída de MI (2013) e do EIA (ECOLOGY BRASIL; AGRAR; JP MEIO AMBIENTE, 2004b).

Tabela 4 - Municípios da área de estudo

UF	Quant. municípios	Quant. municípios beneficiados pelo PISF	Quant. municípios da Área de Influência Direta do PISF*	Quant. municípios da área de estudo
PE	185	113	16	116
PB	223	127	30	130
RN	167	94	19	94
CE	184	56	21	59
TOTAL	759	390	86	399

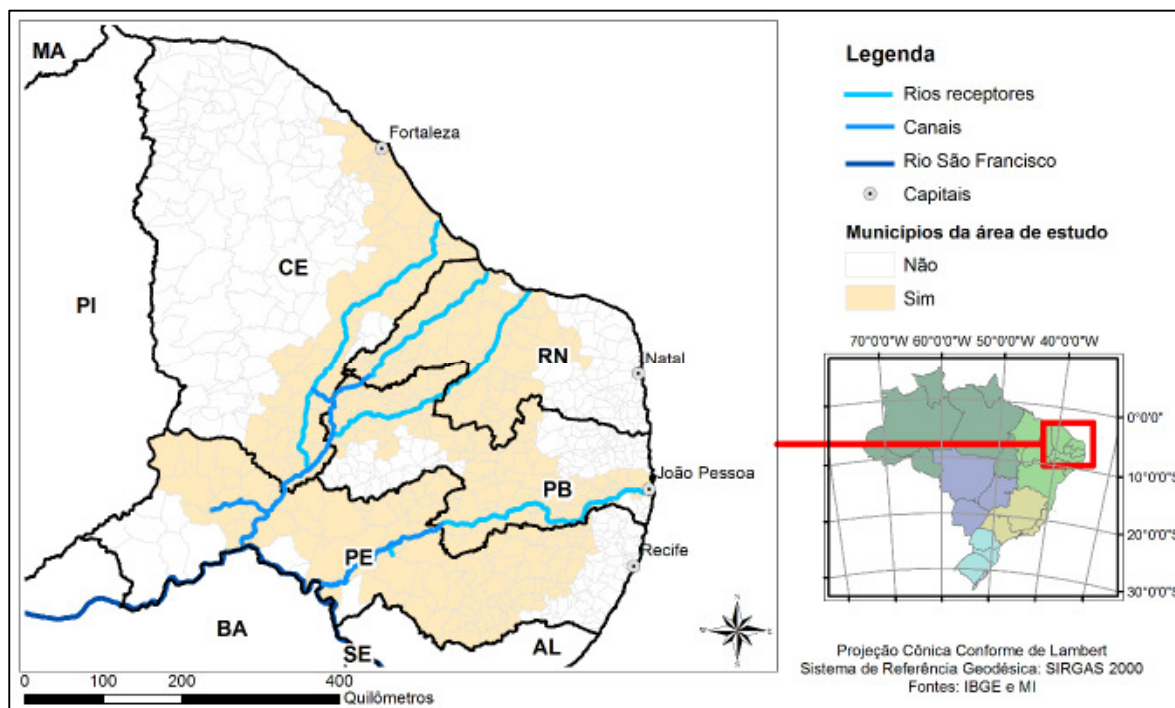
Notas:

* A maioria dos municípios da AID serão beneficiados pelo PISF, com exceção de nove municípios em PE, PB e CE, que pertencem exclusivamente à AID.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de MI (2013) e Ecology Brasil, Agrar e JP Meio Ambiente (2004b).

A abrangência dos municípios estudados está ilustrada no mapa da Figura 28 (em bege, os que fazem parte da área de estudo; em azul escuro, a representação dos canais artificiais do PISF; em azul mais claro, os leitos naturais dos rios que receberão as águas da transposição).

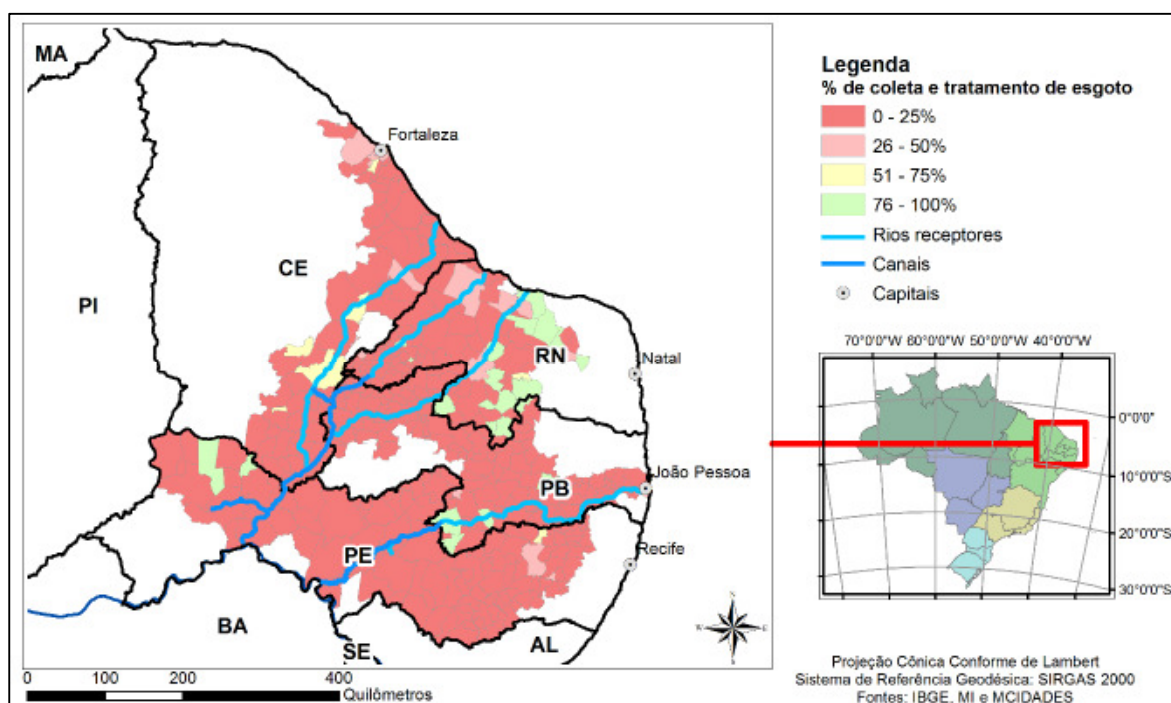
Figura 28 - Municípios da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A situação do esgotamento sanitário da população urbana pode ser visualizada na Figura 29. Dos 399 municípios, 355 (89%) têm menos de 25% do esgoto coletado e tratado (MCIDADES, 2014a)³².

Figura 29 - Situação do esgotamento sanitário nos municípios da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2015) a partir de MCIDADES (2014a).

³² Para os municípios que não têm dados sobre a situação de esgoto, considerou-se como inferior a 25%.

A situação do esgoto especificamente nos municípios da AID está resumida na Tabela 5. Esses municípios merecem atenção especial, tendo em vista que despejos não tratados representam maiores riscos de poluição das águas do projeto de integração.

Tabela 5 - Situação da coleta e tratamento de esgoto nos municípios da AID

UF	Quant. municípios com coleta e tratamento inferior a 50%	Maior ou igual a 50%	Total
PE	16	0	16
PB	28	2	30
RN	17	2	19
CE	18	3	21
TOTAL	79	7	86

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de MCIDADES (2014a).

Quanto às obras de esgotamento sanitário na área de estudo, há convênios federais em 102 municípios, referentes a 142 convênios (há municípios beneficiados com mais de um convênio), com valor total conveniado de R\$ 740,3 milhões (Tabela 6)³³. No Apêndice D consta a relação dos convênios, com dados sobre os municípios beneficiados, valores, vigência, situação das obras de acordo com os sistemas consultados e percentual de execução (Apêndice D - Convênios para obras de esgotamento sanitário na área de estudo). Os dados foram atualizados até 31/10/2014.

Tabela 6 - Resumo dos convênios analisados

UF	Quant. municípios com obras de esgoto	Quant. de convênios	Convênios	
			Valor total (R\$)	Valor liberado pela União (R\$)
PE	31	46	224.612.056,39	90.946.928,31
PB	36	50	231.647.700,37	96.288.616,28
RN	19	27	125.734.178,20	66.170.879,64
CE	16	19	158.320.110,00	52.693.906,45
TOTAL	102	142	740.314.044,96	306.100.330,68

Nota: Dados atualizados até 31/10/2014.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de TCU (2014f).

Quanto ao arranjo institucional, salienta-se, no âmbito federal, a atuação do MI, na coordenação geral do PISF, e do Ministério das Cidades e da FUNASA, firmando convênios com estados e municípios.

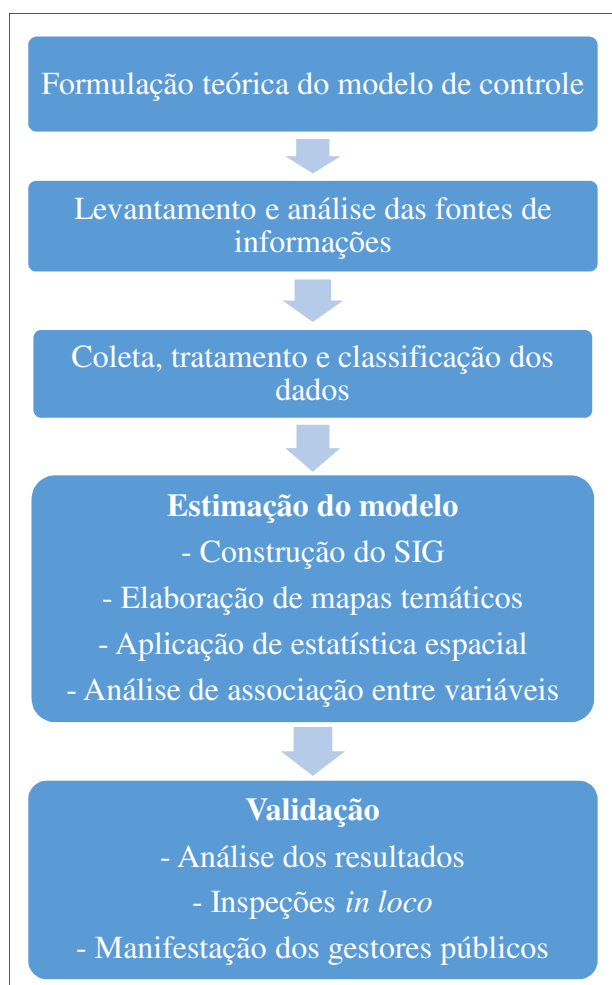
³³ Os critérios utilizados para identificação dos convênios são abordados no subtítulo “4.2.2 - Convênios federais para obras de esgotamento sanitário”, uma vez que a definição de procedimentos para identificação dos convênios em si faz parte dos resultados da pesquisa.

De forma subsidiária, existe a atuação da CODEVASF em alguns municípios integrantes da bacia do São Francisco em Pernambuco. No âmbito estadual e municipal, há os governos estaduais, as companhias estaduais de saneamento e as prefeituras.

3.2 Metodologia

A pesquisa foi dividida em cinco etapas, conforme fluxograma da Figura 30. Inicialmente foi feito um esboço do modelo de controle pretendido, com base na experiência do autor, revisão de literatura e entrevistas com especialistas. Na sequência, partiu-se para o levantamento e análise de fontes de informações disponíveis, buscando-se identificar as que poderiam ser úteis à proposta. Analisadas as fontes, passou-se à coleta e tratamento dos dados para iniciar-se a estimação do modelo, em que se implementou a formulação teórica, com utilização dos dados e realização de testes empíricos. A etapa de estimação teve forte viés empírico e serviu também para efetuar ajustes na formulação teórica preliminar, iniciando-se novos testes, até que os resultados se mostrassem satisfatórios. Por fim, passou-se à etapa de validação. Ao longo das etapas fez-se revisão de literatura.

Figura 30 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Genericamente, a aplicação de SIG pode ser dividida nas etapas de aquisição de dados, processamento e saída (CORDÃO; RUFINO; ARAÚJO, 2013, p. 264–268; DUBA; DI MAIO, 2014, p. 793–795; HORITA *et al.*, 2015, p. 86–88; LONGLEY *et al.*, 2013, p. 435–443; LOPES *et al.*, 2015, p. 476–478; PAES, 2012, p. 82 e 85; RAŠI *et al.*, 2011, p. 3660–3663). A etapa de aquisição envolve a obtenção dos dados. O processamento abrange a implementação do BDG, a realização das análises espaciais e a manutenção dos dados. A saída compreende a elaboração dos mapas, emissão de relatórios e o apoio à tomada de decisão do gestor.

No caso em apreço, antes da aplicação do SIG foi necessário construir um modelo de controle, resultando em um fluxograma de atividades para alcançar os resultados pretendidos, incluindo as questões a serem respondidas, fontes de informação, critérios e parâmetros de avaliação. Essa construção foi necessária, pois na revisão de literatura não foram identificados estudos consistentes objetivando controlar a distância obras de esgoto a partir de informações extraídas de bases de dados e com aplicação de SIG. Observou-se também carência de estudos a respeito dos dados disponíveis, assim como das informações e conhecimentos possíveis de serem extraídos.

Boa parte desta pesquisa foi realizada no âmbito do TCU, por meio de uma Fiscalização de Orientação Centralizada (FOC). A FOC destinou-se a acompanhar as obras de esgotamento sanitário relacionadas ao PISF nos estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará (Auditoria FOC-PISF), sob o registro Fiscalis n. 256/2014, Processo 010.945/2014-8. Tratou-se de auditoria de natureza operacional, coordenada pela Secretaria de Controle Externo do TCU na Paraíba (SECEX-PB) e contou com a participação direta de auditores dos quatro estados mencionados.

3.2.1 *Formulação teórica*

A formulação teórica foi realizada com base na experiência do autor, pesquisa bibliográfica e documental, entrevistas não-estruturadas, *workshops* e reuniões técnicas. Utilizaram-se, como premissas fundamentais, a importância e a praticidade dos dados a serem obtidos. Com relação à praticidade, eliminaram-se as alternativas cuja obtenção de dados não fosse possível com as fontes disponíveis ou demandassem grande esforço para obtenção e tratamento.

Foram realizadas entrevistas não-estruturadas com dez técnicos ou acadêmicos, com experiência nas áreas de saneamento básico, gestão ambiental, planejamento urbano, geoprocessamento, base de dados governamentais e auditoria de obras públicas. Durante as entrevistas elencaram-se quais informações a respeito das obras poderiam ser acompanhadas virtualmente, empregando as fontes disponíveis, e quais parâmetros para análise deveriam ser aplicados.

Foram realizados três *workshops* para discussão da matéria: um no âmbito do TCU, um no Fórum Paraibano de Combate à Corrupção e o último na Universidade Técnica de Berlim (TU-Berlin). Nesses eventos participaram especialistas em obras de infraestrutura urbana, convênios federais, tecnologia da informação, geoprocessamento e planejamento ambiental.

Realizaram-se também cinco reuniões com gestores da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), da Caixa Econômica Federal (CAIXA), do CREA, da FUNASA e do IBAMA para obter informações sobre a área de estudo, bases de dados disponíveis e dificuldades relacionadas a obras de esgoto. Os extratos das reuniões constam no Apêndice E (Apêndice E - Extratos das reuniões). Foram também consultados representantes do controle interno do Poder Executivo federal (CGU), de órgão estadual de meio ambiente (Superintendência de Administração do Meio Ambiente da Paraíba - SUDEMA) e de Tribunal de Contas estadual (TCE-PB).

A concepção inicial do modelo foi o principal produto desta etapa, conforme se discute no “4.1 *Controle a distância de obras públicas: nova abordagem proposta*”. A Matriz de Planejamento³⁴ foi elaborada, com detalhamento das questões de auditoria, informações requeridas, parâmetros de avaliação das obras e procedimentos a serem aplicados. Essa matriz detalha procedimentos operacionais para aplicação prática do modelo. Seu conteúdo encontra-se detalhado no Apêndice F (Apêndice F - Matriz de planejamento).

Ressalta-se que não foram utilizados dados referentes aos traçados e às localizações de cada projeto de SES em específico. Informações dessa natureza não foram consideradas por dois motivos em especial. Primeiramente, o modelo desenvolvido objetiva uma análise sistêmica das obras, não cabendo, nessa escala, entrar em detalhes de cada projeto, bastando a identificação do município beneficiado. O outro motivo consiste no fato de que os projetos não são disponibilizados para acesso em sistemas de informação e, mesmo que fossem, não há obrigação legal para que os mesmos estejam em formato digital e georreferenciados.

3.2.2 *Análise das fontes de informações*

O levantamento das fontes foi realizado com pesquisa bibliográfica e documental, além das entrevistas e reuniões já descritas no subtítulo anterior. As fontes abrangeram dados tabulares e espaciais, abarcando características da área de estudo, aspectos socioeconômicos, licenciamento ambiental, convênios para execução de obras, divisão político-administrativa, hidrografia etc.

³⁴ Quando da elaboração desse documento, empregaram-se, na medida do possível, os mesmos termos técnicos da matriz de planejamento padrão para auditoria de obras públicas do TCU.

As principais fontes analisadas, cuja discussão consta adiante, foram: Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) e Sistema Nacional de Informações das Cidades (SNIC) do MCIDADES; Sistema Integrado de Monitoramento de Convênios (SISMOC) da FUNASA³⁵; Censo Demográfico e Portal de Mapas do IBGE; sítios eletrônicos do MI, IBAMA, órgãos ambientais estaduais e TCE; HidroWeb da ANA; *ArcGIS Online/ World Imagery* da ESRI; Diretoria de Gestão da Informação (DGI) do TCU; Sistema de Repasse de Recursos de Projetos do Governo (RPG) da CAIXA e Banco do Brasil (BB); além de ofícios encaminhados aos convenentes e outras fontes como relatórios técnicos, artigos científicos, leis etc.

As características de cada uma delas foram tabeladas, com as seguintes colunas: instituição responsável; nome do sistema de informação; *link* de acesso; descrição do sistema; usuários do sistema; dados disponíveis; abrangência; periodicidade de atualização; tipos de análises possíveis de realização; e comentários adicionais.

Avaliou-se a adequabilidade das fontes de informação para os objetivos pretendidos, além de identificar as limitações de cada uma delas e estabelecer critérios para utilização. Depois de concluída esta etapa, foi possível indicar quais deveriam ser utilizadas e suas respectivas limitações. Metodologia de análise parecida foi adotada por Montenegro e Campos (2014, p. 297 e 298). Esta etapa foi também relevante para obter conhecimento das limitações específicas de cada fonte para o caso em estudo (BITAR; BRAGA, 2013, p. 155 e 156; HELLER; RODRIGUES, 2014, p. 65; MONTENEGRO; CAMPOS, 2014, p. 336 e 343; MORAES *et al.*, 2014, p. 273–275).

Dados tabulares

As fontes relacionadas a dados tabulares foram as mais diversas e abrangeram conteúdos distintos. Para fins de organização, os assuntos foram divididos em: área de estudo, convênios e outros (referentes a assuntos mais específicos e oriundos de fontes variadas).

a) Área de estudo

O Quadro 6 apresenta uma síntese das fontes de informações analisadas sobre os municípios da área de estudo, cujo conteúdo discute-se adiante. Os dados obtidos foram importantes para delimitação da área de estudo e levantamentos exploratórios iniciais.

³⁵ Em complemento ao SISMOC, utilizaram-se também o Sistema Gerencial de Acompanhamento de Projetos de Saneamento (SIGESAN) e Sistema Integrado de Gerenciamento de Obras (SIGOB), ambos da FUNASA.

Quadro 6 - Fontes de informações sobre a área de estudo

Fonte de informação	Descrição resumida
Ministério da Integração Nacional (MI) - Sítio eletrônico	Municípios beneficiados pelo PISF e vários documentos técnicos relacionados ao projeto. www.integracao.gov.br/pt/projeto-sao-francisco
IBAMA - Sítio eletrônico	EIA do PISF, incluindo a delimitação da AID do projeto. www.ibama.gov.br
IBGE - Censo Demográfico	População e suas características socioeconômicas. www.censo2010.ibge.gov.br
Ministério das Cidades (MCIDADES) - Sistema Nacional de Informações de Saneamento	Aspectos técnicos e de caráter institucional, operacional e de qualidade dos serviços de saneamento. www.snis.gov.br

Fonte: Elaborado pelo autor.

No sítio eletrônico do MI foram obtidos vários dados e documentos técnicos sobre o PISF, incluindo a relação dos municípios que serão beneficiados e pareceres técnicos envolvendo o projeto, a exemplo de análises realizadas pelo IBAMA quando do licenciamento ambiental. Foram obtidos também dados sobre o andamento das obras dos canais e a expectativa de início de operação do empreendimento. O traçado dos canais foi obtido em consulta a esses documentos.

No sítio eletrônico do IBAMA foi possível obter o EIA do PISF³⁶. Esse documento foi especialmente importante para delimitar a área de estudo, na medida em que, além dos municípios a serem beneficiados, constam também os municípios que fazem parte da AID.

O Censo Demográfico é realizado pelo IBGE a cada 10 anos e os dados são públicos. Trata-se de uma alternativa para obtenção de dados gerais dos municípios. O último censo foi realizado em 2010 e traz vários dados, entre os quais, sobre a demografia, urbanização, condições de habitação (características do entorno dos domicílios, densidade domiciliar, abastecimento de água, esgotamento sanitário, destino do lixo, entre outros) e perfil socioeconômico. Para o estudo em apreço utilizaram-se, especialmente, os dados sobre população urbana e rural de cada município.

Para obtenção de dados sobre coleta e tratamento de esgoto nos municípios, utilizou-se o Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), mantido pelo MCIDADES. O Sistema apoia-se em um banco de dados que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional,

³⁶ www.ibama.gov.br > lado esquerdo *link* de licenciamento ambiental > na tela com “EIAs, monitoramento e relatórios” > procurar recursos hídricos > localizar o *link* específico para Transposição (Interligação do São Francisco).

gerencial, econômico-financeiro e de qualidade sobre a prestação de serviços de saneamento básico. Os dados são informados anualmente pelos prestadores de serviço. Em que pese o caráter voluntário da participação dos agentes, o fornecimento dos dados é um dos pré-requisitos para a contratação de obras e serviços junto ao Ministério das Cidades. A abrangência é nacional, mas nem todos os prestadores encaminham os dados solicitados, conforme pôde-se constatar em testes realizados na base de dados. Apesar do Censo Demográfico também contemplar dados relacionados às condições de esgotamento sanitário no entorno dos domicílios, o SNIS mostra-se mais adequado para o caso em apreço, pois é atualizado anualmente e contempla mais detalhes. Acrescenta-se que, no Censo, a coleta por rede de esgoto ou por rede de águas pluviais é tratada de forma conjunta, além disso, não constam dados sobre a existência de tratamento dos efluentes.

b) Dados sobre os convênios federais

O Quadro 7 apresenta uma síntese das fontes de informações referentes aos convênios firmados pelo Governo Federal com estados e municípios. Essas fontes foram fundamentais para identificação dos convênios relacionados às obras de esgoto e, posteriormente, para obtenção de dados mais detalhados sobre a execução de cada convênio.

Quadro 7 - Fontes de informações sobre os convênios federais

Fonte de informação	Descrição resumida
TCU - DGI Consultas (Módulo Transferências)	Consolidação de três bases de dados do Governo Federal referentes à convênios. Acesso restrito
MCIDADES - Sistema Nacional de Informações das Cidades	Execução dos convênios firmados pelo MCIDADES. www.brasilemcidades.gov.br
FUNASA - Sistema Integrado de Monitoramento de Convênios	Execução dos convênios firmados pela FUNASA. www.FUNASA.gov.br/site/aceso-a-informacao/convenios

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na intranet do TCU, na página “DGI Consultas” (Módulo Transferência)³⁷, são disponibilizados, para todos os convênios firmados pelo Governo Federal, dados como: UF; número do convênio; objeto da transferência (descrição resumida); órgão concedente; convenente; município do convenente; data de início da vigência; data de fim da vigência; valor pactuado; valor liberado; situação do convênio etc.

³⁷ Mantida pela Diretoria de Gestão da Informação (DGI) do TCU.

Esta foi a principal fonte de informação para identificação dos convênios e é resultado de consolidação de bases de dados do Governo Federal, em especial:

- Sistema de Administração Financeira do Governo Federal (SIAFI)³⁸: é onde são inseridos os dados da execução orçamentária e financeira da União. O sistema entrou em operação em 1987 e é de responsabilidade da STN. Constatam os valores dos convênios e as transferências de recursos realizadas pela União para os estados e municípios, assim como os dados bancários das contas correntes dos convênios;
- Sistema de Gestão de Convênios e Contratos de Repasse (SICONV)³⁹: lançado em 2008, sob a responsabilidade do MPOG, é utilizado no gerenciamento de convênios federais. É uma iniciativa visando sistematizar procedimentos que possibilitam a redução de esforços para publicidade, celebração, acompanhamento e prestação de contas, bem como efetivo controle e transparência sobre os convênios, contratos de repasse e termos de parceria. Considerando que existem convênios anteriores a implantação do SICONV, que ainda não tiveram o objeto concluído, ainda é necessária a utilização do SIAFI para obtenção de informações referentes aos convênios. Na medida em que os convênios mais antigos forem sendo concluídos, a tendência é de se utilizar apenas o SICONV; e
- Portal da Transparência⁴⁰: é mantido pela CGU, disponibilizando, de forma fácil e prática, um resumo dos dados constantes desses dois sistemas, que podem ser baixados de forma consolidada, para todos estados e municípios, desde 1996, com atualização semanal.

Os dados constantes dessas bases têm caráter mais geral e não entram em detalhes sobre as obras. Citam-se, como exemplo, os convênios firmados com os governos estaduais. Considerando apenas essas bases, frequentemente não é possível identificar o município que será beneficiado com a obra, pois, no campo “município”, aparece a sede do conveniente, independentemente do local da obra⁴¹.

Utilizando-se do Sistema Nacional de Informações das Cidades (SNIC), do MCIDADES, e do Sistema Integrado de Monitoramento de Convênios (SISMOC), da FUNASA, localizaram-se os municípios beneficiados pelas obras, mesmo nos casos de convênios com o governo estadual. Acrescenta-se que, no caso do SISMOC, foram também obtidas cópias de relatórios elaborados pela FUNASA, estados e municípios. Cada sistema contempla detalhes diferentes referentes aos

³⁸ www.tesouro.fazenda.gov.br/siafi

³⁹ www.convenios.gov.br

⁴⁰ www.transparencia.gov.br

⁴¹ Em alguns casos, o município beneficiado consta na própria descrição do objeto conveniado, mas, frequentemente, foi necessário recorrer a sistemas de informações dos próprios órgãos concedentes para obter informações dessa natureza.

convênios firmados pelos respectivos órgãos⁴². Foram também obtidos dados adicionais sobre a situação da obra (não iniciada, em execução, paralisada ou concluída) e sobre o percentual físico de execução. Acrescenta-se que:

- para os convênios do MCIDADES, no intuito de testar a consistência dos dados, nos casos em que a CAIXA atuava como agente interveniente, consultou-se também o Sistema de Acompanhamento de Obras (SIURB)⁴³;
- no caso da FUNASA, o SISMOC não fornecia esses dados de forma consolidada, tornando-se necessário consultar cada convênio de forma individualizada. Utilizaram-se, portanto, dois outros sistemas: Sistema Gerencial de Acompanhamento de Projetos de Saneamento (SIGESAN) e Sistema Integrado de Gerenciamento de Obras (SIGOB)⁴⁴. Ambos tratam do acompanhamento das obras, mas no SIGESAN constam dados sobre os convênios firmados até 2010, enquanto que no SIGOB constam os mais recentes.

c) Outros dados

O Quadro 8 apresenta uma síntese de outras fontes analisadas, que também têm relação com o objeto de estudo, mas cujos dados não constam nas bases relacionadas diretamente com os convênios.

Nos sítios eletrônicos dos órgãos ambientais estaduais obtiveram-se dados sobre as licenças ambientais emitidas, a exemplo do tipo de licença, número, data de emissão, validade, atividade licenciada, cliente e município. Os órgãos ambientais da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará são exemplos de instituições que disponibilizam esses dados na internet. Destaca-se que o MMA pretende disponibilizar, no âmbito do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental, em uma única plataforma, dados sobre licenças ambientais nos níveis federal, estadual e municipal (MMA, 2014a, 2014b).

Os sítios eletrônicos dos TCE apresentaram-se como opção para obtenção de diversos dados sobre os gastos dos estados e municípios, a exemplo das licitações realizadas e empresas contratadas. Os Tribunais de Contas de Pernambuco, Paraíba e Ceará são exemplos de instituições que disponibilizam esses dados na *web*. Ressalta-se, no entanto, que existem divergências quanto ao conteúdo disponibilizado por cada Tribunal, conforme também apontado por Santos *et al.* (2013, p. 740).

⁴² Ressalta-se que, do total de 142 convênios analisados, dois deles foram firmados pela CODEVASF. Para informações sobre esses convênios, a Companhia dispõe do Sistema de Gestão de Contratos e Convênios no seu sítio eletrônico (www2.codevasf.gov.br/programas_acoes/sistemas_de_consulta/sigec). No entanto, além dos dados constantes do Portal da Transparência, não foram identificadas informações relevantes nesses sistemas que justificassem seu uso neste estudo.

⁴³ www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/assistencia_tecnica/siurb_index.asp

⁴⁴ Esses sistemas são de acesso restrito, sendo necessário um cadastro prévio na FUNASA.

Quadro 8 - Outras fontes de informações

Fonte de informação	Descrição resumida
Sítios eletrônicos dos órgãos ambientais estaduais	Relação das licenças ambientais emitidas.
Sítios eletrônicos dos TCE	Contratações e despesas dos estados e municípios.
TCU - DGI Consultas (Módulo Cruzamento)	Informações quantitativas sobre funcionários das construtoras. Acesso restrito.
CAIXA e BB - Repasse de Recursos de Projetos do Governo	Extratos das contas destinatárias de repasses da União. É necessário um acordo de cooperação para utilização.
Ofícios de diligência encaminhados aos convenentes	Alternativa para circularização e obtenção de informações adicionais.
Fontes diversas	Relatórios técnicos, artigos científicos, leis etc.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na intranet do TCU, na página DGI Consultas (Módulo Cruzamento), foram obtidos dados referentes à quantidade de funcionários contratados pelas construtoras. Esses dados são coletados a partir da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Instituto Nacional do Seguro Social (INSS). Se corretamente trabalhados, podem resultar em informações importantes no tocante a adequabilidade da capacidade operacional das empreiteiras frente às obras para as quais foram constatadas.

Aplicativos da Caixa Econômica Federal (CAIXA) e do Banco do Brasil (BB) possibilitam a obtenção *on-line* dos extratos das contas correntes específicas de cada convênio. Para acesso ao Sistema de Repasse de Recursos de Projetos do Governo (RPG) torna-se necessário um acordo de cooperação com essas instituições. Os extratos das contas são uma importante fonte para realização de testes de auditoria. Como limitação, registra-se que não foi possível obter os extratos referentes às contas da CAIXA, visto que, em que pese a existência de acordo entre o TCU e o banco, o mesmo ainda não estava implementado para esse tipo de consulta. Portanto, nos testes realizados, utilizaram-se apenas os extratos obtidos com o BB.

Quanto aos ofícios de diligência encaminhados aos convenentes, os mesmos foram importantes por dois motivos em especial. O primeiro diz respeito a expectativa de controle gerada junto aos jurisdicionados. Quando a Corte de Contas encaminha um ofício ao convenente solicitando dados sobre determinada obra, espera-se que o gestor passe a adotar cuidados adicionais. O outro motivo

refere-se à possibilidade de circularização⁴⁵ e complementação dos dados obtidos junto aos sistemas de informações consultados. Nos ofícios foram solicitados, entre outros, dados sobre: plano municipal de saneamento; licitações e contratos; licenciamento ambiental convênio; execução da obra e projetos; pagamentos e conta corrente; dificuldades encontradas para cumprimento do objeto no prazo e qualidade pactuados; e contatos dos responsáveis.

Ademais, existem diversas outras informações que foram obtidas de fontes dispersas. É o caso de relatórios técnicos de trabalhos anteriores relacionados ao PISF ou a obras de esgotamento sanitário, artigos científicos e legislação relacionada ao assunto.

Apresentadas e discutidas as fontes de informações constantes dos Quadros 6, 7 e 8, percebe-se a diversidade de dados disponíveis para utilização no controle das obras, inclusive no âmbito do controle social. Destaca-se a importância de ações, por parte das esferas federal, estadual e municipal, para integrar essas bases, aumentando a transparência pública, a exemplo de iniciativas como a do Portal Nacional do Licenciamento Ambiental.

Mesmo com tantas fontes, algumas informações úteis não estavam disponíveis. Não se tem, por exemplo, de forma centralizada, informação sobre quais obras de esgotamento sanitário encontram-se em andamento. Também não são facilmente obtidas informações sobre o cronograma físico-financeiro das obras. De acordo com Ribeiro (2012, p. 100), o Governo Federal ainda não tomou medidas objetivas para criação de um sistema para acompanhar os cronogramas físicos e financeiros.

Em testes experimentais efetuados, constataram-se situações que apontam para a existência de dados com inconsistências, mas que não descaracterizam a utilização dessas bases. Algumas bases pesquisadas não são periodicamente atualizadas e, em outros casos, foram encontradas inconsistências nos dados. Identificaram-se, por exemplo, casos em que a situação do andamento da obra constante do sistema mostrava-se incompatível quando comparada com outros dados disponíveis, como obras que estavam há um longo período sem aporte de recurso financeiro, mas que o sistema mantinha como se em execução estivessem. Em outros casos, constataram-se descrições genéricas, dificultando a identificação precisa das obras, como o caso de convênios em que não se consegue relacioná-los diretamente às licenças emitidas pelo órgão ambiental responsável.

Nem todas as fontes de informações estavam disponíveis na internet ou são de acesso público. Em alguns casos, solicitou-se cadastro prévio nos órgãos responsáveis. Nos casos dos dados não

⁴⁵ A circularização é em uma técnica de auditoria com o objetivo de confirmar, com outras fontes, informações obtidas junto ao auditado. Deve ser formalizada e baseia-se na suposição da independência das fontes (FREITAS, 2011, p. 195).

disponibilizados, os mesmos foram solicitados às instituições responsáveis via acordo de cooperação, diligência ou Lei de Acesso a Informação.

Considerando que todas as fontes mencionadas possuem relação, direta ou indiretamente, com algum município, foi possível especializar esses dados, com a vinculação dos dados tabulares com a localização dos respectivos municípios.

Dados vetoriais e matriciais

O Quadro 9 apresenta uma síntese das fontes de informações para os dados vetoriais e matriciais. Os dados disponíveis abrangem divisão político-administrativo dos estados e municípios, hidrografia e imagens de satélite.

Quadro 9 - Fontes de informações referentes aos dados espaciais

Fonte de informação	Descrição resumida
IBGE - Portal de mapas	Divisão político-administrativo dos estados e municípios. http://portaldemapas.ibge.gov.br/
ANA - HidroWeb	Bacias hidrográficas e hidrografia na escala 1:250.000. http://hidroweb.ana.gov.br/
ESRI - <i>ArcGIS Online/ World Imagery</i>)	Imagens de alta resolução com cobertura global. http://goto.arcgisonline.com/maps/World_Imagery

Fonte: Elaborado pelo autor.

A divisão político-administrativa dos estados e municípios, obtida no sítio eletrônico do IBGE, foi o ponto de partida para espacialização dos dados tabulares obtidos nas fontes anteriormente mencionadas. Esses dados vetoriais foram utilizados para agregar os dados tabulares.

Os dados referentes à hidrografia disponibilizados pela ANA, analisados de forma conjunta com informações contidas no projeto do PISF, permitiram a obtenção, no formato vetorial, do traçado dos canais e dos rios que receberão as águas do projeto.

As imagens disponibilizadas pela ESRI (*ArcGIS Online/ World Imagery*) fornecem imagens de satélites para todo o globo, com resolução temporal e espacial variável, chegando, nesse último caso, a resoluções maiores do que 1m em algumas regiões. Para o caso em apreço, essas imagens foram incorporadas no SIG, mas apenas para verificações mais simples, como visualização de rios e reservatórios nas proximidades dos municípios estudados.

Quanto à possibilidade de utilização sistemas de informações sobre saneamento básico com escalas maiores, Montenegro e Campos (2014, p. 339) destacaram o evidente incremento nas potencialidades quando se consegue trabalhar na base distrital, por exemplo. Os dados do Censo Demográfico do IBGE podem ser desagregados nesse nível, porém isso não é possível com boa parte dos dados de outras bases. As dificuldades que se tem encontrado, no atual SNIS, para construir uma base de dados confiáveis no nível municipal mostram o longo caminho a percorrer para atingir um nível de desagregação territorial inferior ao do município.

3.2.3 Coleta e tratamento dos dados

A coleta de dados deu-se, essencialmente, com acesso a sistemas informatizados. Foram também encaminhados ofícios aos órgãos responsáveis para validar parte dos dados obtidos nos sistemas e também para obter dados adicionais. As etapas de análise das fontes de informação e coleta dos dados foram posteriores à concepção teórica do modelo devido ao princípio de que o modelo deve comandar a coleta de dados, e não o contrário (PIDD, 1998, p. 45).

Os dados coletados foram tratados e classificados possibilitando a realização de testes e análises. Utilizaram-se os *softwares PostgreSQL e Microsoft Excel*. O *PostgreSQL* é um sistema gerenciador de banco de dados e possibilitou o tratamento e organização inicial das bases coletadas. O *Microsoft Excel* foi usado na sequência, para possibilitar ajustes adicionais, antes da inserção dos dados no BDG e análises no SIG.

A integração dessas fontes mostrou-se tecnicamente viável. Em geral, utilizaram-se dois campos como chaves para interligação das tabelas, um referente aos municípios e outro aos convênios. Quanto à localização, utilizou-se a Tabela de Códigos de Municípios, que contempla uma chave única para cada município (IBGE, 2015; MONTENEGRO; CAMPOS, 2014, p. 340). Quanto aos convênios, utilizaram-se os números de registro no SIAFI/SICONV, que consistem em um registro único para cada convênio. Dificuldades adicionais ocorreram nos casos em que as bases não dispunham desses campos. Nessas situações, os nomes dos municípios associados aos estados e a numeração original dos convênios foram empregadas como chaves.

3.2.4 Estimação do modelo

De posse dos dados coletados e tratados, aplicaram-se os procedimentos estabelecidos na Matriz de Planejamento referentes aos dados tabulares e efetuaram-se, na sequência, as análises espaciais. As obras foram avaliadas, conforme se discute no subtítulo “4.2 - *Sistemas de informações geográficas aplicado ao controle*”, de acordo com parâmetros referentes a: cronograma de execução; vigência

dos convênios; capacidade operacional das construtoras; movimentações das contas bancárias dos convênios; e risco de poluição dos recursos hídricos.

Para as análises espaciais, o SIG foi construído e alimentado, elaboraram-se mapas temáticos e aplicaram-se testes com apoio de estatística espacial. Por fim, efetuaram-se algumas análises de associação entre os parâmetros de avaliação das obras.

Construção do SIG

A construção do SIG foi efetuada com o *software ArcGIS 10.1* da ESRI. Para estruturação do BDG, utilizou-se o *ArcCatalog*, adotando-se o formato *file geodatabase (.gdb)*. Para manipulação dos *layers*, elaboração dos mapas e análises espaciais, utilizou-se o *ArcMap*, com auxílio do *ArcToolbox*.

Antes de importar os dados para o BDG, identificaram-se relações, atributos e chaves-primárias. Uma vez concluído o banco de dados, passou-se à alimentação do SIG, procedendo-se a organização dos *layers*, ajustes para padronização dos sistemas de coordenadas e das projeções cartográficas, edição dos dados para ajustá-los ao caso concreto e junções tabulares e espaciais.

Quanto aos ajustes dos sistemas de coordenadas e de projeções, adotou-se como padrão o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e a Projeção Cônica Normal de Lambert (com dois paralelos padrão). O SIRGAS foi escolhido porque, desde 25/2/2015, é o sistema de referência oficial no Brasil (IBGE, 2005). Adotou-se a Projeção Cônica Normal de Lambert em face das grandes dimensões da área de estudo, do interesse em visualizar em um único mapa toda a área e das baixas escalas requeridas para a análise⁴⁶. Esse sistema de projeção possibilita a visualização de uma área maior com relativo baixo nível de deformação, fazendo-se útil para regiões que se estendam na direção Leste-Oeste (IBGE, 1999, p. 40). A projeção *Universal Transversa de Mercator (UTM)* não foi utilizada pois a área abrange duas zonas, prejudicando sua visualização em um único mapa.

Quanto à edição dos dados, citam-se, como exemplos de ajustes, o georreferenciamento da imagem referente ao traçado do PISF para possibilitar a vetorização dos eixos, os ajustes no formato dos códigos municipais oriundos dos arquivos vetoriais do IBGE para integração com os dados tabulares e a edição de arquivos vetoriais da ANA referentes à hidrografia da região.

⁴⁶ A localização requerida para as obras refere-se ao município beneficiado, não se considerando os traçados das redes de esgoto ou as localizações exatas das estações de tratamento.

Elaboração de mapas temáticos

Com o SIG construído, iniciou-se a elaboração de mapas temáticos de forma empírica. Aplicou-se, iterativamente, a seguinte sequência para cada uma das questões da Matriz de Planejamento (adaptado de MITCHELL, 2009, p. 6-12):

- escolha dos dados;
- escolha dos métodos de abordagem; e
- elaboração de mapas temáticos, análise e avaliação dos resultados.

Na elaboração dos mapas utilizaram-se interpoladores de densidade para ajudar na identificação de padrões espaciais. Testaram-se interpoladores simples e de kernel. Quanto à definição do raio de kernel, existem várias metodologias para sua estimativa, sendo encontradas variações significativas a depender da metodologia aplicada (KUTER; USUL; KUTER, 2011, p. 3036). Realizaram-se análises visuais de mapas gerados experimentalmente com raios de 10, 20, 25, 30 e 50 km. Para escolha desses raios de teste considerou-se que:

- Bailey e Gatrell (1995 *apud* KUTER; USUL; KUTER, 2011) propuseram a Equação 1, em que o raio varia em função do número de observações, sendo igual a 25 km para o caso em análise, utilizando todas as sedes dos municípios da área de estudo, e 31 km utilizando apenas as sedes beneficiadas com convênios:

$$r_k = 0,68N^{-0,2} \quad (1)$$

Onde: r_k é o raio de kernel; e N é o número de pontos. Como se trata de uma equação muito simplificada, Williamson *et al.* (1999) propuseram ajustá-la multiplicando pela raiz da área.

- ESRI (2012) propôs a Equação 2, sendo igual a 20 km para o caso em apreço:

$$r_k = \frac{l}{30} \quad (2)$$

Onde: l é a menor dimensão (X ou Y) da extensão do tema.

Para escolha do esquema de classificação dos dados, consideraram-se a forma de distribuição dos dados e análises visuais em mapas preliminarmente gerados. Testaram-se os seguintes esquemas (MITCHELL, 1999, p. 48–52):

- quantil: cada classe tem igual número de feições, sendo recomendada para dados com distribuição linear;
- intervalos-iguais: cada classe tem a mesma amplitude, ou seja, a diferença entre o valor mais alto e mais baixo de cada classe é constante;

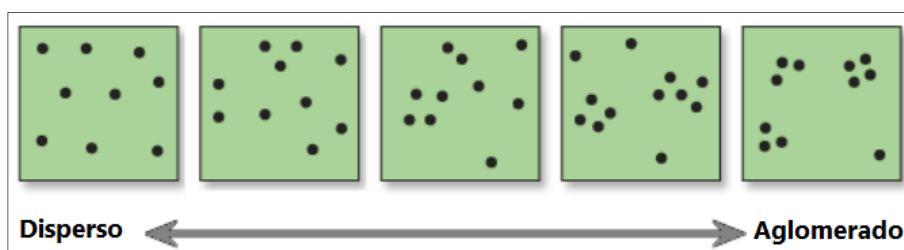
- desvio-padrão: as feições são colocadas em cada classe de acordo com quanto seus valores variam em relação à média, ajudando a enfatizar valores acima e abaixo dela; e
- quebras-naturais: baseia-se em agrupamentos naturais dos valores, com algoritmo para agrupar valores próximos e maximizando as diferenças entre classes.

Para definição da quantidade de classes, testaram-se quatro, cinco e seis classes. Em geral, quatro ou cinco são suficientes para identificar padrões. Setes classes dificultam o entendimento, enquanto que menos do que quatro não demonstra suficientemente as variações. Ademais, caso o esquema de classificação seja bem escolhido, espera-se que, mesmo com variações na quantidade de classes, os padrões não sejam significativamente alterados (MITCHELL, 1999, p. 54 e 55).

Aplicação de estatística espacial

Além de análises visuais e interpretações dos mapas, recorreu-se a parâmetros estatísticos para confirmar as conclusões obtidas quanto aos padrões de distribuição espacial, verificando também se os padrões encontrados tinham significância estatística. Padrões geográficos variam de completamente disperso para completamente aglomerado. Entre os extremos está a distribuição aleatória (Figura 31).

Figura 31 - Exemplos de distribuição espacial dispersa e aglomerada



Fonte: Adaptado de ESRI (2012).

A estatística espacial permite comparar a distribuição observada com o padrão esperado, que consiste em uma distribuição aleatória (situação hipotética - hipótese nula). O teste de significância verifica o percentual de risco de rejeitar a hipótese nula, acatando-se, conseqüentemente, a hipótese alternativa (negação da hipótese nula; no caso, existência de aglomeração ou dispersão dos pontos)⁴⁷.

Para confirmar as verificações visuais quanto aos padrões de espacialização, utilizou-se o cálculo da distância média entre os pontos. Esse método consiste em medir a distância entre cada ponto e seu vizinho mais próximo e calcular a média. Nas distribuições em que a média de distância é menor do

⁴⁷ As verificações mencionadas buscam quantificar padrões globais na área de estudo (estatística global). Existem ainda estudos focando padrões individuais e seus relacionamentos com as vizinhanças (estatística local). Esses últimos não foram objeto desta pesquisa.

que a média obtida em uma distribuição aleatória, considera-se a existência de aglomerações. A situação oposta configura dispersão. O índice do vizinho mais próximo (*nearest neighbor index*) pode ser calculado como a diferença, ou então a razão, entre a distância média observada e a esperada com a distribuição aleatória. A seguir apresentam-se as Equações 3 a 6 empregadas nos cálculos (MITCHELL, 2009, p. 88–96).

$$\bar{d}_o = \frac{\sum_i c_i}{n} \quad (3)$$

Onde: \bar{d}_o é a distância média observada; c_i é a distância entre cada ponto e seu vizinho mais próximo; n é o número de pontos.

$$\bar{d}_e = \frac{0,5}{\sqrt{n/A}} \quad (4)$$

Onde: \bar{d}_e é a distância média esperada para uma distribuição aleatória; A é a área de estudo.

$$d = \bar{d}_o - \bar{d}_e \quad (5)$$

Onde: d é o índice do vizinho mais próximo como diferença.

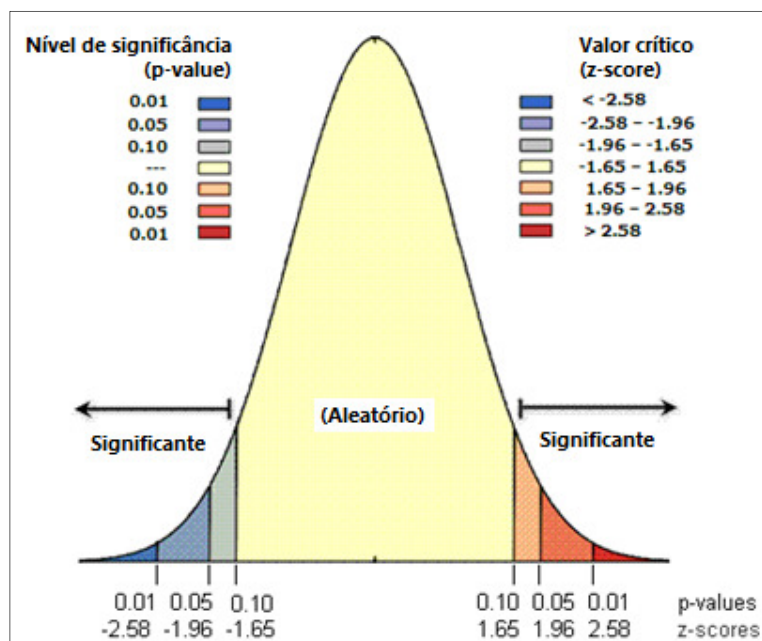
Sendo: se $d = 0$, então a distribuição observada é aleatória; se $d < 0$, há aglomeração; se $d > 0$, há dispersão.

$$r = \frac{\bar{d}_o}{\bar{d}_e} \quad (6)$$

Onde: r é o índice do vizinho mais próximo como razão.

Sendo: se $r = 1$, então a distribuição observada é aleatória; se $r < 1$, há aglomeração; se $r > 1$, há dispersão.

Para o teste de significância, considerou-se a hipótese nula como sendo os pontos distribuídos de forma aleatória. Uma distribuição espacial aleatória resultaria em uma distribuição normal das distâncias do vizinho mais próximo. Como parâmetros de avaliação, utilizaram-se o *p-value* e o *z-score*. *P-value* é a probabilidade do padrão observado ser um resultado aleatório considerando uma distribuição aleatória (hipótese nula). Quanto menor o seu valor, menor a probabilidade de a distribuição ser aleatória, portanto, menor o risco de erro ao rejeitar a hipótese nula (MITCHELL, 2009, p. 63–70). Por exemplo, *p-value* igual a 0,10 indica um nível de confiança de 90% de que a distribuição não é aleatória. Adotou-se 5% de significância para rejeitar a hipótese nula. *Z-score* indica a diferença, em desvio padrão, entre os valores observados e os esperados. Quando seus valores são negativos, indica uma tendência de maior aglomeração dos pontos e, quando positivos, dispersão. *P-value* e o *z-score* são diretamente associados entre si. Valores de referência constam na Figura 32.

Figura 32 - Valores de referência para *p-value* e *z-score*

Fonte: Adaptado de ESRI (2012).

Para o cálculo do *z-score*, utilizou-se a Equação 7 (adaptado de MITCHELL, 2009, p. 90-91).

$$Z = \frac{\bar{d}_o - \bar{d}_e}{0,26136} \cdot \sqrt{n^2/A} \quad (7)$$

Onde: Z é o *z-score*; \bar{d}_o é a distância média observada; \bar{d}_e é a distância média esperada; n é o número de pontos; A é a área de estudo.

Análises de associação entre variáveis

Depois de definidos os parâmetros para avaliação das obras, com identificação dos respectivos achados de auditorias, realizaram-se análises de associação entre os achados. Esse tipo de análise mostra-se interessante para refinar o entendimento do comportamento das variáveis. Procuraram-se, essencialmente, construir distribuições conjuntas das variáveis para descrever a associação entre elas, verificando se uma variável influencia a ocorrência da outra⁴⁸.

Cada convênio foi classificado, de forma qualitativa, quanto a ocorrência de cada um dos possíveis achados de auditoria (“sim” ou “não” - variáveis nominais) e foi elaborada uma tabela com esses dados. Na sequência, avaliou-se a associação, duas a duas, entre as variáveis, considerando todos os indivíduos da amostra (convênios). Em outras palavras, buscou-se identificar se a ocorrência de um

⁴⁸ Não se levou em consideração a localização geográfica dos convênios, nem se buscaram identificar eventuais equações de correlação entre as variáveis.

determinado achado de auditoria está associada à ocorrência de um outro. Consideram-se duas variáveis como independentes se a ocorrência de uma não afeta a ocorrência da outra.

Os dados foram resumidos em tabelas de dupla entrada (ou de contingências), em que aparecem as frequências absolutas (ou contagem de indivíduos) que pertencem simultaneamente a categorias de uma e outra variável. Para efeitos práticos, pode-se entender a existência de associação como a mudança de opinião sobre o comportamento de uma variável na presença ou não de informação sobre a segunda variável (BUSSAB; MORETTIN, 2002, p. 70).

A associação foi investigada com aplicação do teste do Qui-Quadrado. É um teste não paramétrico, não exigindo suposições quanto à distribuição da variável. Seu princípio fundamental é comparar proporções, avaliando se as divergências entre as frequências observadas e esperadas para um certo evento têm significado estatístico. Pode-se dizer que uma variável não influencia a outra se as diferenças entre as frequências observadas e as esperadas, em cada categoria, forem pequenas. Existem algumas condições para execução do teste, a exemplo de: as variáveis sejam exclusivamente nominais ou ordinais; amostras grandes ($n \geq 40$); não mais de 20% das frequências esperadas sejam inferiores a cinco e nenhuma igual a zero. Caso essas condições não ocorram, ajustes nos cálculos são necessários (GUIMARÃES, 2008, p. 160; MASSAD; SAMESHIMA, 2003).

Nos testes de hipótese, considerou-se como hipótese nula que as variáveis são independentes, ou seja, as frequências observadas não devem ser significativamente diferentes das esperadas. Os valores esperados consistem nos que seriam obtidos caso as variáveis fossem independentes. A hipótese alternativa foi que existe associação entre as variáveis. Como apoio, utilizaram-se gráficos e tabelas dinâmicas elaborados no *Microsoft Excel*. A seguir apresentam-se as Equações 8 e 9 referentes à estatística Qui-Quadrado de Pearson (BUSSAB; MORETTIN, 2002, p. 77–80 e 392–395).

$$E_{ij} = n \cdot p_{ij} \quad (8)$$

Onde: E_i são as frequências esperadas; p_{ij} são as probabilidades de ocorrência dos valores esperados considerando a hipótese nula.

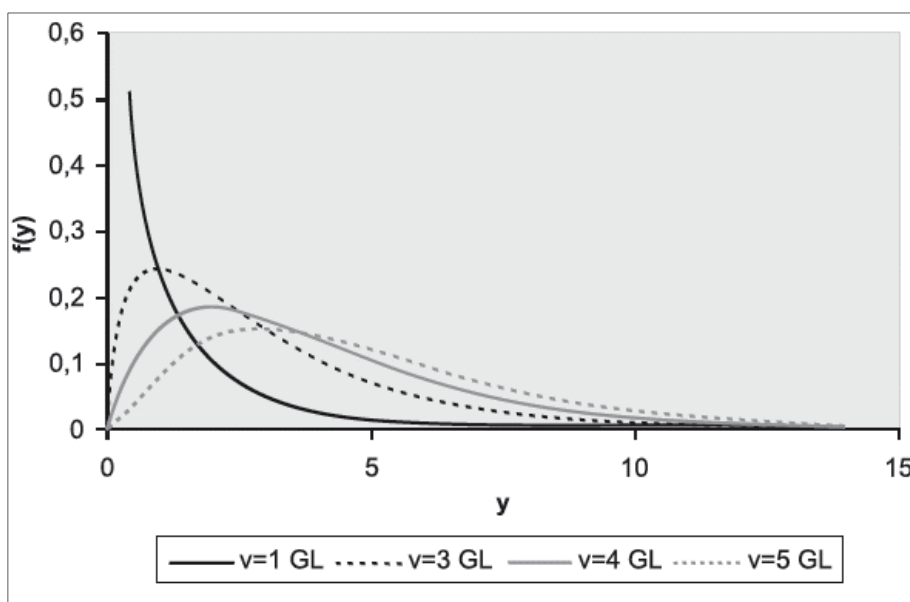
$$\chi^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^s \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (9)$$

Onde: χ^2 é a medida de Qui-Quadrado; O_{ij} e E_{ij} são as frequências observadas e as esperadas; p e s são o número de categorias ou classes (no caso em apreço, tanto r como s são iguais a dois, tendo em vista que podem ser “sim” ou “não”, relacionadas à ocorrência de cada achado).

Sendo: quanto maior o valor de χ^2 , maior será a probabilidade das frequências observadas divergirem das esperadas.

Para aceitar ou rejeitar a hipótese nula, adotou-se 5% como nível de significância crítico, representando a máxima probabilidade de erro aceitar ou se rejeitar a hipótese nula. Se o valor calculado para a medida do Qui-Quadrado (χ^2) for maior do que o crítico, rejeita-se a hipótese nula, admitindo-se a existência de associação entre as variáveis. O *p-value* é a chance de erro ao rejeitar à hipótese nula, com base na medida de Qui-Quadrado calculada. A Distribuição do Qui-Quadrado está representada na Figura 33, no caso em apreço, o grau de liberdade é igual a um, já que é definido como: $(p - 1) \cdot (s - 1)$.

Figura 33 - Função Densidade Qui-Quadrado



Fonte: Naghettini e Pinto (2007, p. 177).

A etapa de estimação teve forte viés empírico e serviu também para efetuar os ajustes finais na concepção do modelo, iniciando-se novos testes, até que os resultados se mostrassem satisfatórios. A intenção inicial foi aperfeiçoada com base na experiência adquirida, sendo a modelagem não conduzida de forma estritamente linear (PIDD, 1998, p. 61 e 106).

A descrição do SIG construído, assim como dos critérios referentes aos parâmetros de avaliação das obras e as análises de associação efetuadas constam do subtítulo “4.2 - Sistema de informações geográficas aplicado ao controle”.

3.2.5 Validação

A validação foi dividida em três fases: análise dos resultados da aplicação experimental, inspeções *in loco* e manifestação dos gestores públicos.

Análise dos resultados da aplicação experimental

Objetivou-se verificar se os resultados obtidos atendiam à hipótese da pesquisa, ou seja, se as informações de saída do modelo contribuem efetivamente para o controle das obras de esgoto. Para isso, analisaram-se os resultados da aplicação experimental nos 399 municípios da área estudada.

Inspeções *in loco*

Foram efetuadas 14 inspeções objetivando comparar informações coletadas *in loco* com as extraídas do modelo na aplicação experimental, especialmente no tocante ao cronograma de execução das obras. A seleção das obras inspecionadas foi realizada considerando os municípios da área de influência direta (visto que estão relacionados a um maior risco de poluição das águas do PISF) e com obras iniciadas. Como apoio empregou-se um *checklist* durante as inspeções (Apêndice G - *Checklist* utilizado nas inspeções *in loco*). Foram inspecionadas uma obra em Pernambuco, oito na Paraíba, duas no Rio Grande do Norte e três no Ceará.

Manifestação dos gestores públicos

Os resultados obtidos foram remetidos ao Ministério da Integração, ao Ministério das Cidades e à FUNASA para comentários. Encaminharam-se a esses órgãos a descrição da metodologia, critérios e resultados obtidos para que se manifestassem a respeito. Com a análise das manifestações buscaram-se limitações do modelo. O encaminhamento do relatório preliminar aos responsáveis é um procedimento normatizado no âmbito do (TCU, 2010b).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo deste capítulo apresenta-se o modelo de Controle a Distância de Obras Públicas (CDOP), que consiste em uma proposta para acompanhamento a distância de elevada quantidade de obras de esgotamento sanitário, por meio da utilização de bancos de dados existentes e SIG, com aplicação experimental realizada no âmbito de auditoria do Tribunal de Contas da União.

Seguindo um fluxograma de procedimentos baseado na coleta, tratamento e análise de dados, identificam-se as obras de esgoto executadas com convênios federais na área de estudo e, na sequência, obtêm-se informações relevantes a respeito do cronograma de execução, licenças ambientais, risco de poluição dos recursos hídricos etc., permitindo o controle a distância das obras.

A seguir expõe-se a nova abordagem proposta, com apresentação conceitual do CDOP, sua diagramação e respectivos benefícios esperados, incluindo outras possíveis aplicações para subsídio à gestão ambiental e de recursos hídricos. Na sequência, descrevem-se as análises que dão embasamento técnico-científico e comprovam sua aplicabilidade. Para isso, as fontes de informações utilizadas são analisadas e descreve-se o SIG construído, acompanhado da análise dos resultados obtidos com a aplicação experimental. Por fim, analisam-se os resultados das inspeções *in loco* e das manifestações dos gestores públicos, para fins de validação do modelo.

4.1 Controle a distância de obras públicas: nova abordagem proposta

A seguir faz-se uma apresentação conceitual do Modelo CDOP, incluindo abordagem teórica, diagramação e descrição do processo.

4.1.1 Apresentação conceitual do modelo

O CDOP caminha no sentido do controle a distância de obras, em que as inspeções físicas são utilizadas de forma subsidiária, caso sejam requeridos elementos adicionais, ou no caso da necessidade de intervenções mais específicas.

O SIG apresenta-se como ferramenta para agregar qualidade aos resultados. As análises espaciais vêm para expandir e aprofundar as informações geradas sobre o objeto analisado, buscando padrões

de distribuição antes imperceptíveis. Um esquema genérico da aplicação de SIG no âmbito do Modelo CDOP está na Figura 34, conforme as etapas descritas a seguir:

- coleta de dados: consiste na aquisição de dados de diferentes tipos e fontes, especialmente sistemas de informações da administração pública, além de ofícios enviados pelos responsáveis;
- tratamento e manipulação: uma vez obtidos os dados, passa-se ao tratamento e manipulação, para padronizá-los, corrigir eventuais erros e possibilitar a integração das bases. Deve-se buscar automatizar ao máximo o processo, mas mantendo-se análises manuais por parte dos usuários do modelo em determinadas etapas;
- sistema de informação geográfica: consiste na ferramenta para melhorar a organização dos dados, colocá-los em uma base única e efetuar as análises espaciais, produzindo informações e conhecimento na forma de tabelas, gráficos e mapas;
- controle a distância de obras públicas: o SIG permite obter informações relevantes sobre elevado número de obras, permitindo o acompanhamento virtual, com visão sistêmica dessas obras e possibilitando atuação mais seletiva nos casos de maior risco de problemas.

Figura 34 - Esquema genérico do Modelo CDOP



Fonte: Elaborada pelo autor.

O CDOP, portanto, propõe-se a viabilizar a geração de informações para controlar, de forma remota, as obras de esgotamento sanitário, a partir da coleta, tratamento e espacialização de diversas bases de dados. É um modelo alternativo para aprimorar a gestão das obras, sendo especialmente interessante considerando a quantidade de obras envolvidas e as dimensões do país. No caso concreto em estudo, objetivou-se, em última instância, levantar riscos associados à poluição por despejos de esgoto das águas a serem transpostas pelo PISF.

4.1.2 Descrição e diagramação

O modelo foi desenvolvido em aplicação no âmbito do TCU e engloba as atividades de responsabilidade da equipe de auditoria, cujo início dos trabalhos se dá com a emissão de portaria de fiscalização. O diagrama simplificado do processo consta na Figura 35. Em laranja estão destacadas as atividades que representam inovações e melhorias propriamente.

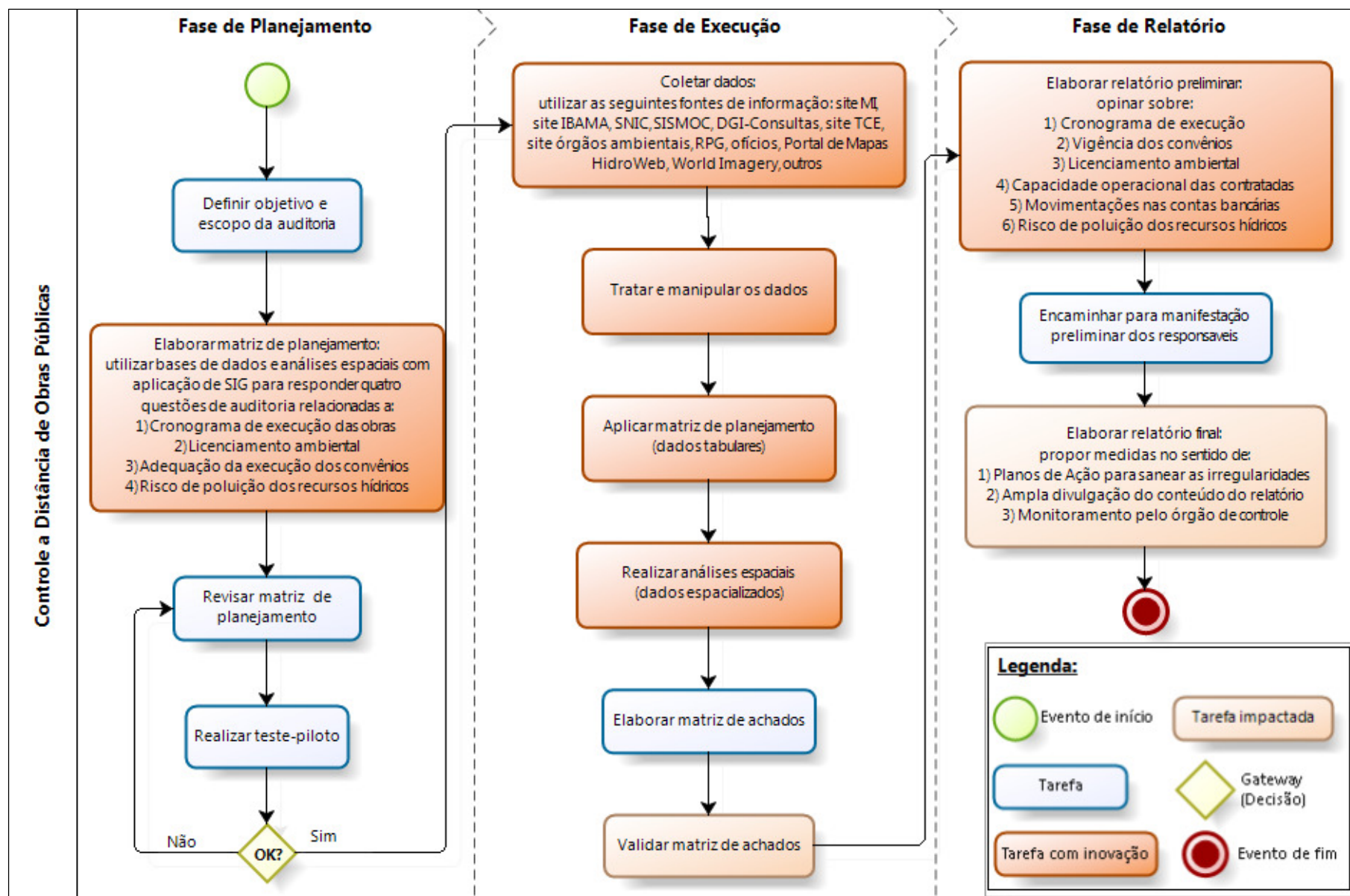
O nível de detalhamento apresentado no diagrama da Figura 35 explicita o modelo de controle como um todo, destacando as tarefas em que foram implantadas inovações. Não se objetivou adentrar em um nível de detalhamento tal como necessário quando da elaboração de um manual, conforme se observa no Manual de Auditoria Operacional (TCU, 2010b). Esse manual foi utilizado como referência para a diagramação apresentada. No âmbito do CDOP propõe-se alguns métodos específicos, mas permanecem válidos outros métodos complementares do referido documento.

A seguir, descreve-se o fluxo de atividades constante da Figura 35, de acordo com cada fase da auditoria: Planejamento, Execução e Relatório.

Fase de Planejamento

Publicada a portaria de fiscalização, a equipe designada inicia a realização de análises preliminares, levantando dados para formulação das questões de auditoria, identificação de riscos, pontos críticos e sobre o funcionamento do objetivo auditado. Na definição do objetivo e escopo da auditoria, especificam-se o problema e as questões a serem investigadas.

Figura 35 - Diagrama simplificado para Controle a Distância de Obras Públicas proposto neste trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

A matriz de planejamento é o documento que expressa os possíveis achados de auditorias e detalha, ainda na fase de planejamento, os procedimentos a serem aplicados durante a execução dos trabalhos. É um quadro-resumo das informações relevantes desta fase, com as seguintes colunas: questões de auditoria; informações requeridas; fontes de informação; procedimentos de auditoria; detalhamento dos procedimentos; e possíveis achados.

Utilizando bases de dados de diversas origens, o CDOP propõe-se a responder quatro questões de auditoria, são elas:

- (i) A administração está tomando providências com vistas a solucionar a situação de paralisação, ritmo lento da execução ou atraso para início das obras?
- (ii) O tipo do empreendimento exige licença ambiental e realizou todas as etapas para esse licenciamento?
- (iii) A execução do convênio/contrato está sendo adequada?
- (iv) A administração está tomando providências com vistas a evitar a poluição das águas do PISF por despejos de esgoto?

Para responder essas questões, foram definidos parâmetros para avaliação das obras referentes a: cronograma de execução das obras; vigência dos convênios; capacidade operacional das construtoras contratadas; movimentações financeiras das contas bancárias dos convênios; e risco de poluição dos recursos hídricos por despejos de esgoto bruto.

Com base na aplicação dos procedimentos estabelecidos na matriz de planejamento, propõe-se identificar os seguintes achados de auditoria: obras paralisadas, em ritmo lento ou não iniciadas com atraso superior a dois anos; convênios com objetos não concluídos com vigência vencida; obras com licença ambiental de instalação vencida; empresas com capacidade operacional incompatível com a execução da obra; movimentações atípicas nas contas bancárias dos convênios; e risco de poluição das águas do PISF pelo lançamento de esgoto.

A matriz de planejamento elaborada consta do Apêndice F, com detalhamento dos procedimentos requeridos para as quatro questões de auditoria e seus possíveis achados. A seguir, a título de exemplo, transcrevem-se os procedimentos relativos à primeira questão:

- Questão de auditoria n. 1:
 - A administração está tomando providências com vistas a evitar/solucionar a situação de atraso para início, paralisação ou ritmo lento de execução das obras?

- Informações requeridas:
 - Municípios da área de estudo; convênios para obras de esgoto; percentual de execução da obra; situação do andamento da obra; Início e término da vigência dos convênios; data da última liberação de recursos.
- Fontes de informação:
 - MI; DGI Consultas; SNIC; SIURB; SISMOC; SIGESAN; SIGOB; diligências.
- Procedimentos de auditoria:
 - Para os municípios da área de estudo, verificar a situação do andamento das obras de acordo com os sistemas de informação disponíveis (não iniciada, paralisada, em execução ou concluída).
 - Confrontar a situação constante do sistema de informação com outras informações coletadas, a exemplo de outros dados constantes do próprio sistema consultado, relatórios de inspeção *in loco*, diligências etc.
- Detalhamento dos procedimentos:
 - Quando da análise da situação do andamento das obras, considerar os seguintes critérios: (i) as obras classificadas como “paralisadas” devem continuar com essa classificação; (ii) as obras classificadas como “em execução” devem ser classificadas como “paralisadas” quando o conveniente apresentou relatório parcial mas está há mais de 6 meses sem nova liberação de recursos (consultar o Sismoc e o Portal da Transparência); (iii) as obras classificadas como “não iniciadas” devem ser classificadas como “não iniciadas - atraso 2 anos” quando o convênio tem mais de dois anos de início da vigência; (iv) as obras classificadas como “em execução” devem ser classificadas como “em execução - ritmo lento”, quando o convênio tem mais de dois anos de início da vigência, está com menos de 50% de execução e a última liberação de recursos ocorreu há mais de 1 ano;
 - Ao término das análises, listar as obras classificadas como “paralisadas”, “não iniciadas - atraso 2 anos” ou “em execução - ritmo lento”;
 - Subsidiariamente, confrontar essas conclusões com as informações constantes das diligências (em especial: data de realização da licitação, data de início da obra e data prevista para o término) e outras informações a que a equipe tiver acesso (a exemplo de relatórios do concedente ou oriundos da rede de controle).
- Possíveis achados:
 - Obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas com atraso superior a dois anos.

A validação da matriz se dá com a realização de painel de referência com especialistas, efetuando-se, na sequência, os ajustes requeridos. Nos testes pilotos, faz-se, de forma experimental, a coleta de dados e aplicação dos procedimentos descritos.

Além da matriz validada e testada, ao término do planejamento já se deve ter, preliminarmente, a relação de convênios para obras de esgotamento sanitário nos municípios da área de estudo.

Fase de Execução

Esta fase busca identificar e evidenciar os achados da auditoria. Inicia-se com a coleta de dados, com base nas fontes definidas na matriz de planejamento, incluindo dados não-espaciais e espaciais.

Na sequência, passa-se ao tratamento e manipulação dos dados. Quanto aos dados tabulares, deve-se, basicamente, padronizá-los para posterior integração. Quanto aos dados espaciais, deve-se editá-los para o caso concreto, além de ajustes referentes a sistemas de coordenadas e de projeção.

Tratados os dados, passa-se à aplicação dos procedimentos da matriz de planejamento e análises espaciais. Primeiramente aplicam-se os procedimentos para os dados tabulares, identificando os achados de auditoria sem considerar padrões de espacialização. Na sequência, alimenta-se o SIG com as informações obtidas e passa-se à elaboração dos mapas temáticos. Os mapas devem ser elaborados e analisados para identificar padrões de espacialização, tais como áreas com maior concentração de obras paralisadas. Em paralelo, de forma suplementar, realizam-se análises de associação entre os achados, buscando variáveis explicativas para os fenômenos observados.

Concluídas as análises, elaboram-se a matriz de achados, que deve ser validada com a realização de painel de referência com especialistas.

Fase de Relatório

O auditado deve ter oportunidade de examinar e se manifestar a respeito do relatório preliminar, antes que ele seja tornado público. A manifestação preliminar dos gestores deve ser analisada e considerada quando da elaboração do relatório final.

O relatório é o instrumento formal e técnico para comunicação dos objetivos, metodologia e resultados da auditoria. A proposta de encaminhamento deve, preferencialmente, contemplar medidas para os responsáveis encaminharem planos de ação para solucionar os problemas encontrados, ampla divulgação do conteúdo do relatório e posterior monitoramento das medidas adotadas.

A determinação para elaboração de planos de ação busca solucionar efetivamente os problemas encontrados, ao invés de medidas com caráter mais punitivo junto aos responsáveis. Os gestores têm a responsabilidade de solucionar as ocorrências apontadas, cabendo a eles apresentar as medidas a serem adotadas, acompanhadas dos respectivos cronogramas de implementação. É interessante que representantes da equipe de auditoria possam orientar o processo de construção do plano, podendo realizar reuniões com os gestores. Não obstante a priorização voltada à solução dos problemas, nos casos de ocorrências mais graves e que demandem uma atuação mais específica, devem ser autuados processos apartados.

A divulgação dos resultados juntos aos *stakeholders*⁴⁹ e à sociedade em geral objetiva dar ampla publicidade sobre a situação das obras de esgoto. Tal medida servirá de alerta aos grupos de interesse quanto aos riscos identificados, servindo de incentivo ao controle social (ALVES, 2009, p. 104).

O monitoramento das medidas adotadas pelos responsáveis busca aumentar a efetividade do controle e deve ser norteado pelo plano de ação. O cronograma de monitoramento deverá ser adaptado às particularidades de cada caso, considerando como premissa que seu início não deve demorar muito, para que não se perca a expectativa de controle, como também não vale a pena monitorar as atividades por muito tempo (TCU, 2010b, p. 47). Durante o monitoramento, avalia-se a conveniência de aplicar procedimentos de coleta e análise de dados semelhantes aos usados durante a auditoria, para ajudar na avaliação das ações adotadas.

4.2 Sistema de informações geográficas aplicado ao controle

Escolhidas as fontes de informações e coletados os dados (entradas), efetuou-se tratamento e manipulação (processamento), identificando os convênios para execução das obras. Posteriormente, aplicaram-se os procedimentos e critérios estabelecidos na matriz de planejamento, para, na sequência, alimentar o BDG e elaborar os mapas temáticos, obtendo as informações para avaliação das obras com auxílio do SIG (saídas). Um fluxograma simplificado das entradas e saídas do CDOP é apresentado na Figura 36.

⁴⁹*Stakeholders* são pessoas, grupos ou instituições com interesse em algum programa ou projeto, incluindo aqueles envolvidos, ou não, no processo de tomada de decisão.

Figura 36 - Simplificação das entradas e saídas do modelo



Fonte: Elaborada pelo autor (2014).

Nos subitens seguintes descrevem-se os procedimentos para processamento dos dados conjuntamente com os resultados da aplicação experimental. Apresentam-se os planos de informação do SIG construído e discutem-se os critérios para identificação das obras e os parâmetros para avaliação.

4.2.1 Planos de informação

O Quadro 10 apresenta os agrupamentos dos principais planos de informação. A manipulação dos diversos planos possibilita análises com sobreposição de camadas, elaboração de mapas temáticos e aplicação de ferramentas de estatística espacial. Além dos planos mencionados no quadro, outros foram utilizados de forma subsidiária, como é o caso dos limites de sub-bacias hidrográficas.

As limitações encontradas quanto às fontes de informações referentes à situação do esgotamento sanitário estão aderentes ao apontado por Montenegro e Campos (2014, p. 336 e 337) e Moraes *et al.* (2014, p. 273–275). Os autores apontaram que a maioria dos sistemas de informação/ bancos de dados sobre saneamento básico disponíveis é incompleta e contém uma série de inconsistências, além de serem concebidos com diferentes lógicas, o que dificulta a análise.

Os planos apresentados no Quadro 10 são variados e permitem vislumbrar a realização de diversas análises. Menciona-se, também, o potencial quase que ilimitado, considerando diversas outros possíveis planos de informação, dinamizando ainda mais o leque de opções, com dados sobre uso e ocupação do solo, qualidade da água, biodiversidade, clima, saúde, cadastro único de programas sociais do Governo Federal, educação, gestão e finanças públicas etc., incluindo também fontes de

informação com imagens de satélite com alta resolução temporal, planos municipais de saneamento, redes sociais, artigos da imprensa e informações voluntárias prestadas pela população (DUBA; DI MAIO, 2014; FREITAS; DACORSO, 2014; HORITA *et al.*, 2015; LEE; KANG, 2015; MENG, 2015; MONTENEGRO; CAMPOS, 2014; NATIVI *et al.*, 2015).

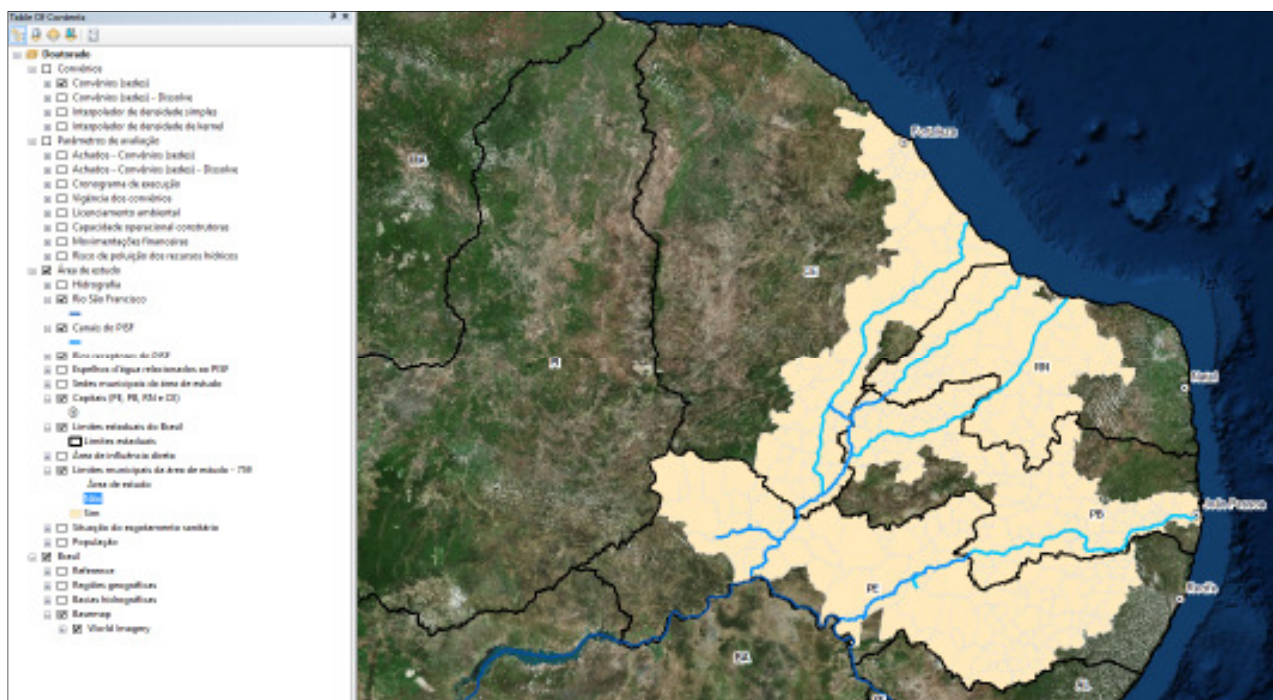
Quadro 10 - Principais planos de informação do SIG

Grupo	Plano de informação
Área de estudo	<ul style="list-style-type: none"> - Rio São Francisco - Canais do PISF - Rios receptores do PISF - Espelhos d'água relacionados ao PISF - Hidrografia - Sedes municipais da área de estudo - Limites administrativos municipais - População - Situação do esgotamento sanitário - Área de influência direta do PISF - Limites administrativos estaduais
Convênios	<ul style="list-style-type: none"> - Convênios para obras de esgotamento sanitário
Parâmetros de avaliação	<ul style="list-style-type: none"> - Cronograma de execução das obras - Vigência dos convênios - Licenciamento ambiental - Capacidade operacional das empresas contratadas - Movimentações financeiras das contas bancárias - Risco de poluição dos recursos hídricos
Brasil	<ul style="list-style-type: none"> - Bacias hidrográficas - Regiões geográficas - <i>World Imagery (ArcGIS Online)</i>

Fonte: Elaborado pelo autor.

A interface do SIG consta na Figura 37, tendo à esquerda uma amostra dos planos de informação disponíveis, enquanto que à direita apresenta-se, a título de exemplo, a área de estudo (em bege) com o traçado dos canais, trecho do rio São Francisco e dos rios receptores (em azul).

Figura 37 - Interface do SIG e seus planos de informação



Fonte: Elaborado pelo autor.

O SIG construído possibilitou uma visão integrada dos diversos dados reunidos no BDG, permitindo acesso às informações geradas a partir das diversas fontes. As análises espaciais aparecem para possibilitar conclusões mais completas, com identificação de áreas com maior ou menor ocorrência de determinado fenômeno, observações de padrões de comportamento etc.

4.2.2 Convênios federais para obras de esgotamento sanitário

Preliminarmente, realizou-se um levantamento exploratório sobre as características gerais dos municípios. Em consulta ao Censo Demográfico e ao SNIS obtiveram-se dados sobre a população, características econômicas e sociais, assim como situação da coleta e tratamento de esgoto. Esses dados permitiram uma visão abrangente da área. A integração dos dados mostrou-se tecnicamente viável, uma vez que as tabelas contemplavam uma chave única para cada município - Tabela de Códigos de Municípios (IBGE, 2015).

Com os dados dos convênios coletados na página da DGI Consultas do TCU, passou-se à identificação, dentre todos os convênios federais, daqueles específicos para obras de esgoto. Ainda nesta etapa de seleção dos convênios, foram agregados dados do SNIC e do SISMOC. Esses sistemas foram necessários para identificação dos municípios beneficiados nos casos de convênios firmados com os estados e não diretamente com os municípios. Aplicaram-se os seguintes critérios:

- apenas municípios da área de estudo;

- convênios com descrição do objeto referente a execução de obras de esgoto⁵⁰; e
- foram excluídos da amostra os ajustes com término de vigência anterior a junho de 2013, para se trabalhar com convênios mais recentes.

Da aplicação desses critérios, obtiveram-se os convênios específicos para obras de esgoto nos municípios de interesse, definindo-se o objeto do estudo. Partindo de todos os convênios do Governo Federal, selecionaram-se apenas aqueles para obras de esgotamento sanitário. A integração dessas bases de dados (DGI Consultas, SNIC e SISMOC) foi dificultada na medida em que não havia uma chave-única que permitisse relacioná-las diretamente. No SNIC e no SISMOC não consta o número SIAFI/SICONV dos convênios, demandando a utilização dos números originais como chave. Além disso, não constam os códigos dos municípios beneficiados, conduzindo à utilização dos nomes dos municípios para delimitação da área de estudo. Frisa-se que a manipulação de nomes e números não padronizados é uma fonte adicional de erro.

A identificação desses convênios, por si só, é uma informação importante, que não se encontra facilmente disponível. O tratamento e manipulação de dados oriundos das diversas fontes permitiu a obtenção de uma série de informações sobre as obras. Parte das fontes pesquisadas mostraram-se, logo de início, relevantes para a realização de levantamentos exploratórios e obtenção de informações sobre as características da área de estudo.

No âmbito do Governo Federal, recomendam-se tratativas para maior compartilhamento e também integração dos bancos de dados, promovendo maior transparência e permitindo a visualização de diversos indicadores dos programas do governo (FREITAS; DACORSO, 2014). A integração permitiria um acompanhamento mais eficiente, inclusive pela sociedade, das ações governamentais relativas a obras públicas, além de facilitar o confronto entre as diferentes fontes de informações e possibilitar também a utilização do conhecimento do cidadão para solução de problemas⁵¹.

⁵⁰ Convênios cuja descrição do objeto constavam as palavras “esgot”, “sanea”, “coletor” ou “emissário” (referentes a “esgoto”, “saneamento”, “coletor” ou “emissário”), mas não constavam os termos “plano muni” e “projeto” (referentes a “plano municipal” e “projeto”). Essas condições foram aplicadas para limitar os convênios àqueles relacionados exclusivamente a obras de esgotamento sanitário, excluindo também os ajustes para elaboração de planos municipais de saneamento ou projetos. Foram excluídos também os convênios cuja ação constava a palavra “elaboração”. Além disso, em alguns casos, foi gerada uma planilha adicional para análise individualizada dos convênios, pois, durante os testes realizados, percebeu-se uma particularidade quando a função orçamentária não era saúde ou saneamento. Nesses casos, frequentemente, os objetos conveniados eram mais abrangentes do que a execução de SES propriamente. Situação semelhante foi encontrada quando, na descrição do objeto do convênio, constava a palavra “saneamento”.

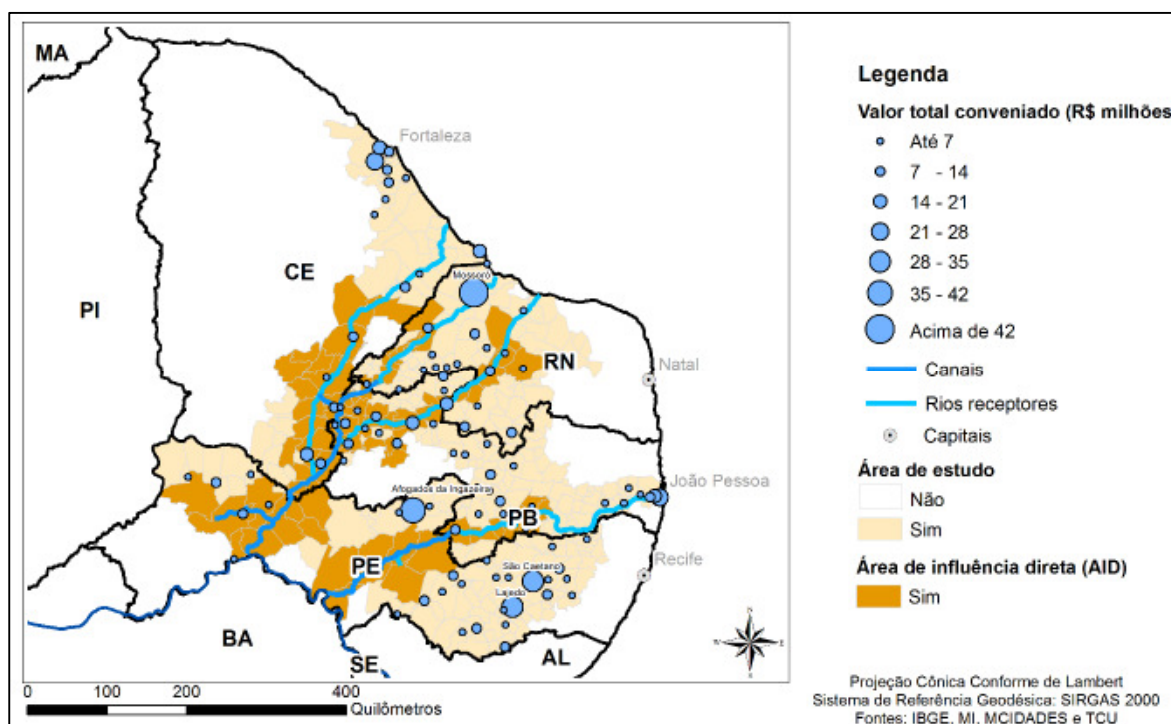
⁵¹ No Congresso Nacional tramitava o Projeto de Lei n. 439/2009, que estabelecia a obrigação para a União manter um cadastro informatizado unificado de obras, tendo como dados mínimos, entre outros, número de identificação, coordenadas geográficas, valor estimado e data, de início e término. Esse projeto de lei foi arquivado em 2014, com a principal motivação de que era inconstitucional, por vício de iniciativa, já que foi um projeto com origem parlamentar dispendo sobre organização e funcionamento de órgãos do Poder Executivo, sendo esse tipo de projeto de iniciativa privativa do Poder Executivo (SENADO FEDERAL, 2014).

Aplicação experimental

Foram identificados 142 convênios, com valor total R\$ 740,3 milhões, em 102 municípios, do total de 399 municípios da área de estudo, conforme resumo apresentado nas Tabelas 4 e 6 do subtítulo “3.1.3 - Municípios da área de estudo” (relação completa no Apêndice D). O valor de cada convênio variou de R\$ 85,5 mil até R\$ 38,4 milhões, com média de R\$ 5,2 milhões. Dos 142 convênios, 94 (66%) tinham valores inferiores à média.

Os municípios com maiores valores foram Mossoró-RN (R\$ 47 milhões), Afogados da Ingazeira-PE (R\$ 38 milhões), Lajedo-PE (R\$ 33 milhões) e São Caetano-PE (R\$ 30 milhões), enquanto que o menor valor é em Ingazeira-PE (R\$ 86 mil). Vários municípios não tinham convênios para obras de esgoto. Um mapa com a localização dos municípios beneficiados com os convênios, contemplando os valores totais para cada município, consta da Figura 38.

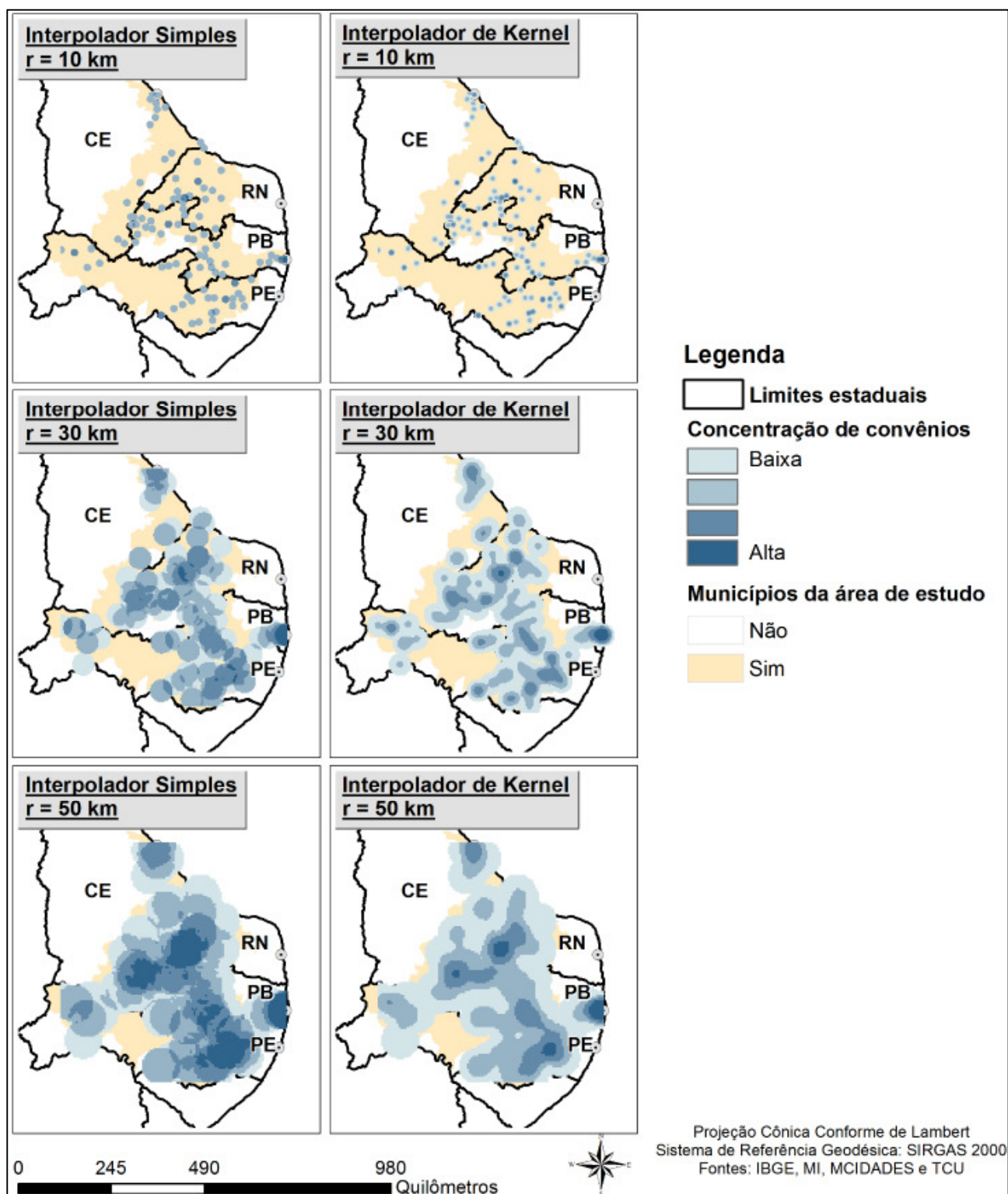
Figura 38 - Convênios existentes na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao uso de interpoladores de densidade para visualizar padrões de espacialização, a Figura 39 contempla alguns dos testes realizados no tocante aos interpoladores simples e de kernel, ilustrando os resultados encontrados para os raios de influência de 10, 30 e 50 km.

Figura 39 - Testes para escolha entre interpoladores de densidade simples ou de kernel



Fonte: Elaborado pelo autor.

Da análise da Figura 39, entende-se que os interpoladores de kernel mostraram-se mais adequados, em face da maior continuidade e dispersão mais clara das informações (CÂMARA *et al.*, 2004, p. 5

e 6; ESRI, 2012). Quanto ao raio de influência, passa-se a adotar 30 km como padrão, pois 10 km não resultou em muitas aglomerações isoladas, enquanto que 50 km resultou em dispersão muito grande.

A respeito das legendas dos mapas elaborados com auxílio de interpoladores de densidade, optou-se pela indicação qualitativa dos valores (concentração “baixa” à “alta”). Essa notação foi adotada pois os valores resultantes dos interpoladores foram pouco explicativos para os fins almejados. A título de exemplo, os valores variaram entre $1,8 \times 10^{-3}$ convênios / 100 km², no caso de raio de influência de 50 km, até 7,0 convênios / 100 km², para raio de 10 km.

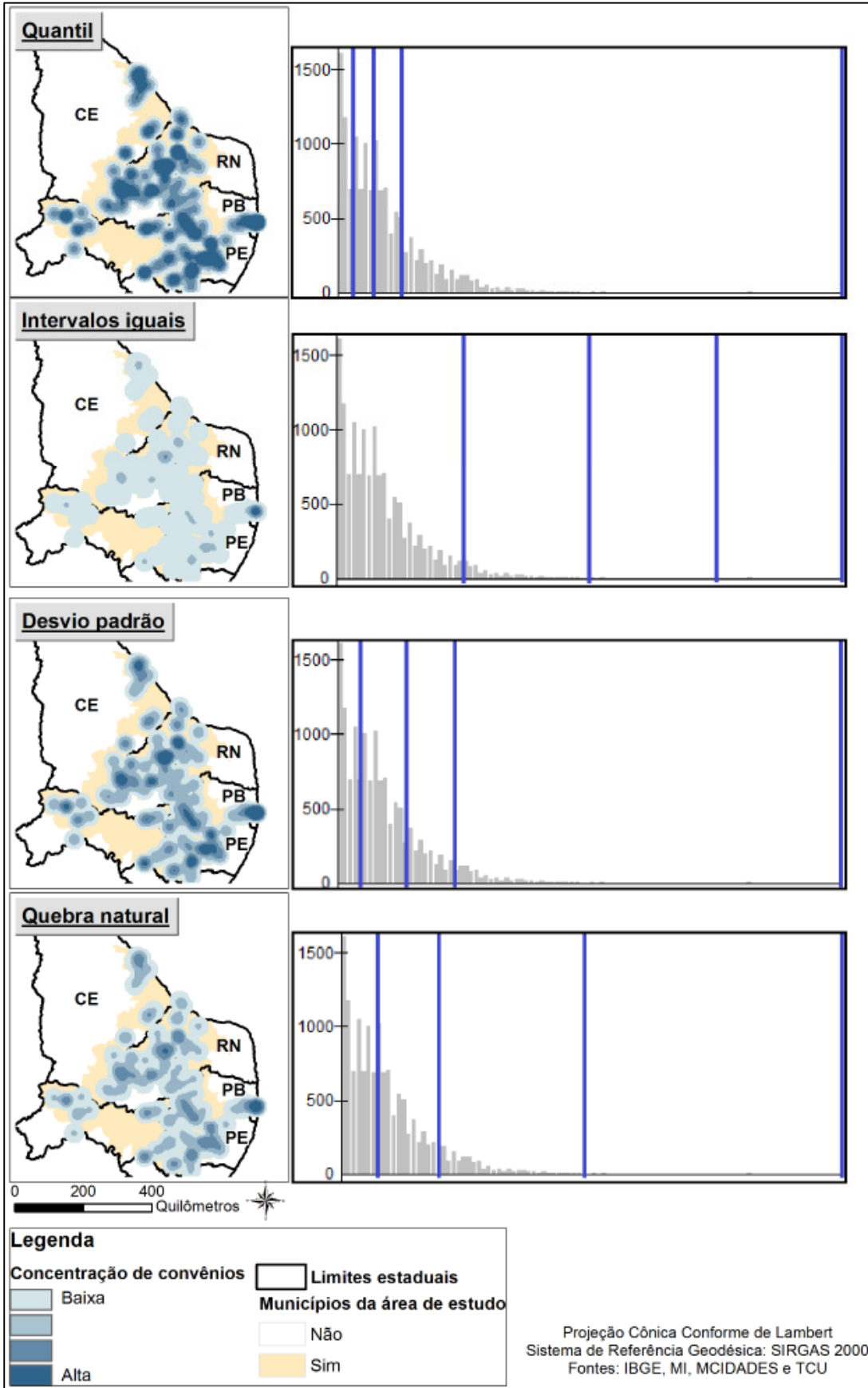
Quanto à forma de classificação dos dados, a síntese dos experimentos realizados consta da Figura 40, contemplando os mapas gerados e os respectivos histogramas de distribuição dos dados, para cada classificação testada. Nos histogramas, o eixo “x” contempla os intervalos com o número de convênios por km² e o eixo “y” é a contagem dos pixels de cada classe, enquanto que as linhas verticais em azul são os limites das classes.

Da análise da Figura 40, observa-se que:

- quanto às classificações por quantil e intervalos-iguais, os resultados obtidos não se mostraram adequados. A escolha pelo quantil resultaria em indicação distorcida no mapa, com muitas áreas de alta aglomeração, por causa da grande amplitude da última classe. A escolha por intervalos-iguais, no sentido contrário, resultaria em poucas áreas com alta concentração.
- quanto às classificações por desvio padrão e quebras-naturais, os padrões de espacialização mostram-se próximos entre si, indicando a possibilidade de utilização das duas opções. Para o caso em análise, entende-se que a adoção do desvio padrão poderia resultar em uma generalização um pouco excessiva da última classe, considerando sua elevada amplitude. Adotou-se como padrão a classificação do tipo quebras-naturais, que é uma forma de classificação de dados frequentemente aplicada nesse tipo de análise (ALLEN, 2009, p. 44 e 45).

Considerando o exposto até aqui, adota-se como padrão para elaboração dos mapas, os interpoladores de kernel, com raio de influência de 30 km e dados classificados por quebras-naturais.

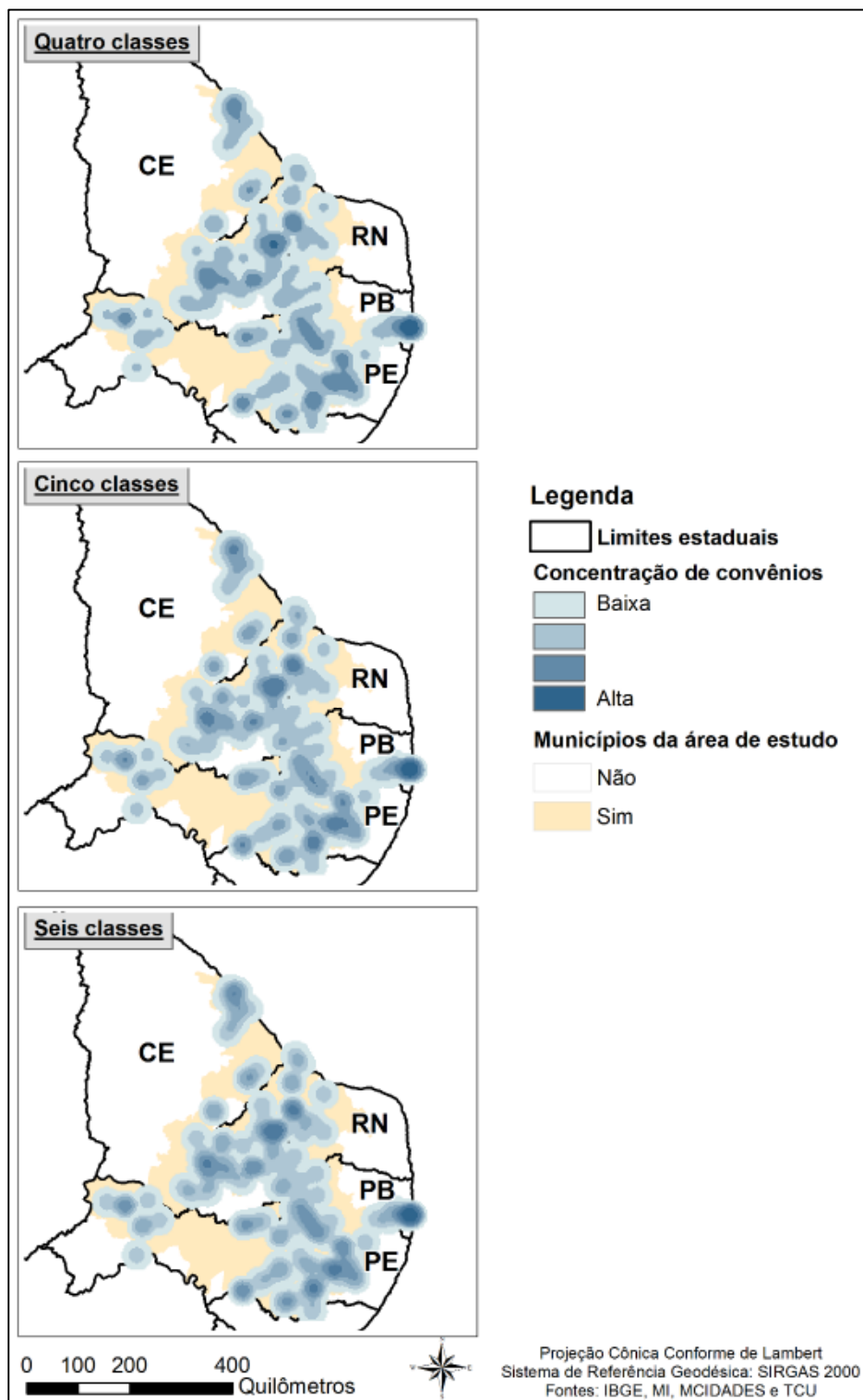
Figura 40 - Testes para escolha do tipo de classificação dos dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à quantidade de classes, os testes realizados são exemplificados na Figura 41. Em todos os casos foi possível identificar aglomerações, sendo o padrão de distribuição espacial equivalente para quatro, cinco ou seis classes. Essa observação sinaliza que o esquema de classificação adotado - quebras-naturais - está adequado (MITCHELL, 1999, p. 54 e 55). Para simplificar a leitura dos mapas, considerou-se que quatro classes são suficientes para as análises.

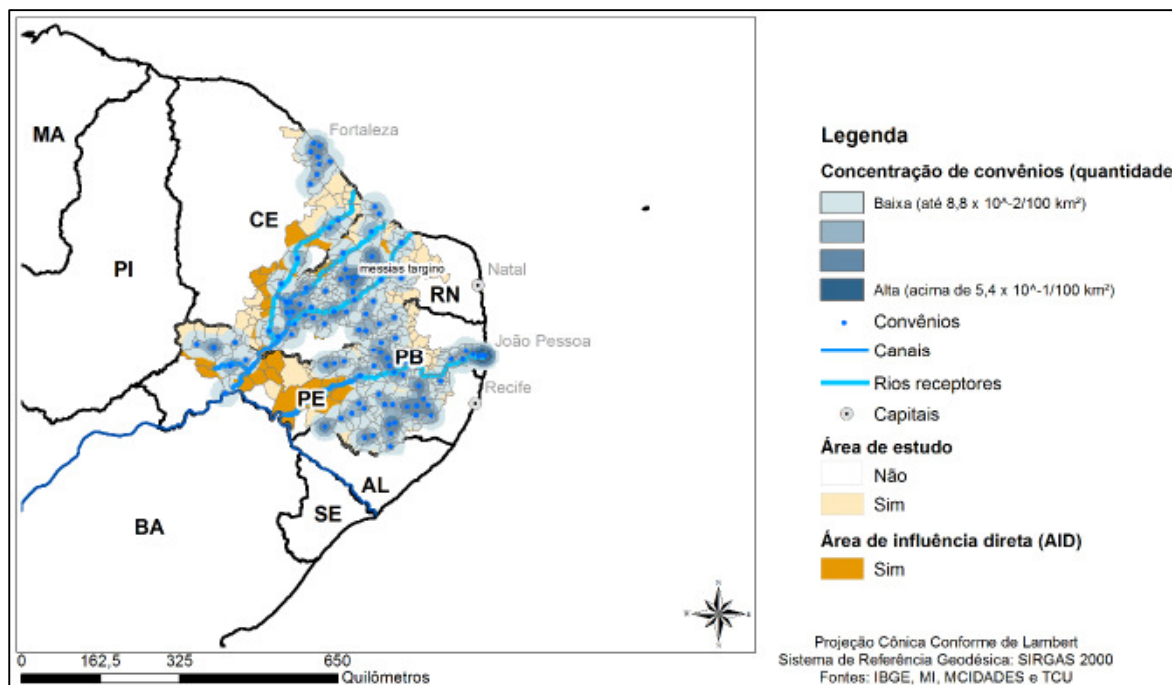
Figura 41 - Testes para escolha da quantidade de classes



Fonte: Elaborado pelo autor.

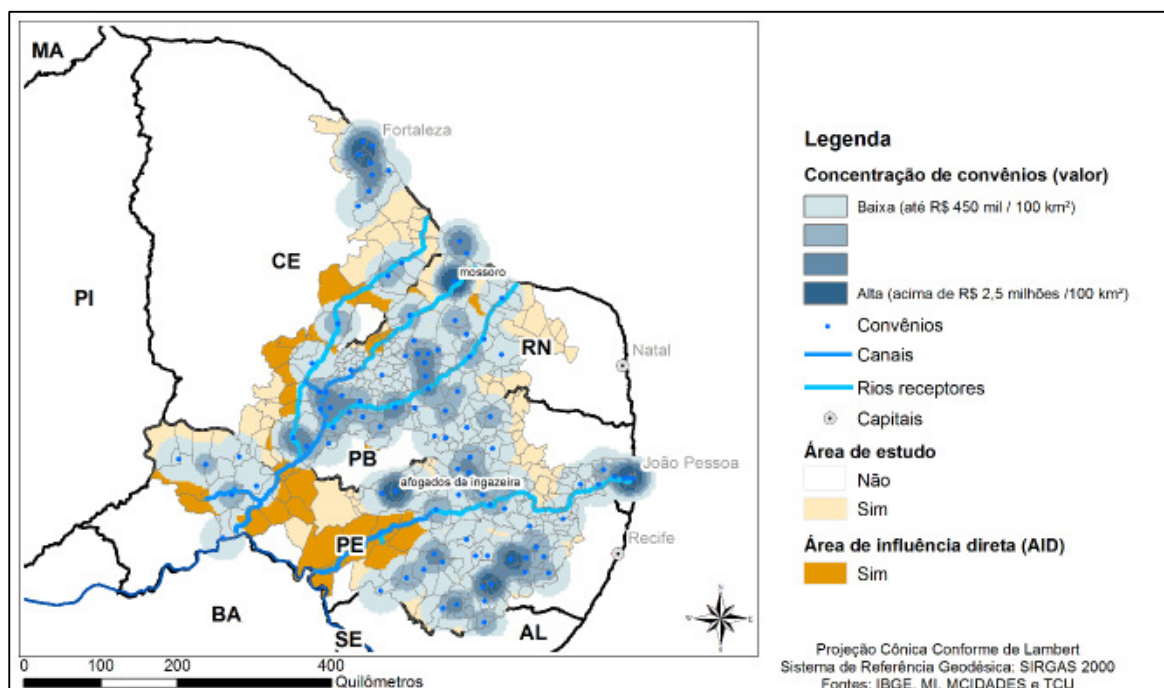
Dois mapas de distribuição espacial dos convênios são apresentados nas Figuras 42 e 43. Na Figura 42 utilizou-se a quantidade de convênios em cada município como peso na distribuição espacial, enquanto que, na Figura 43, o valor total conveniado por município beneficiado.

Figura 42 - Mapa da distribuição da quantidade de convênios na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 43 - Mapa da distribuição do valor (R\$) dos convênios na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A espacialização de acordo com as quantidades (Figura 42) ou com os valores (Figura 43) resultam em diferentes padrões de distribuição. As áreas com maior número de convênios, com destaque para as proximidades de João Pessoa-PB e de Messias Targino-RN, são indicadas na Figura 42. Nas proximidades de Mossoró-RN e Afogados da Ingazeira-PE encontram-se elevados valores conveniados (Figura 43). Ressalta-se que, no âmbito desta tese, foi dado destaque também à quantidade de convênios, ao invés de apenas aos seus valores. Isso se justifica pois se buscam resultados relativos à maior expectativa de controle e ao caráter pedagógico, deixando em segundo plano a materialidade dos investimentos, que já é um critério bastante utilizado, dada a sua relevância.

Acrescentado parâmetros estatísticos, a distribuição espacial das sedes municipais na área de estudo apresentou distância média observada (\bar{d}_o) de 13,2 km, distância média esperada (\bar{d}_e) de 13,8 km e, conseqüentemente, índice do vizinho mais próximo como diferença (d) de -0,6 km e índice do vizinho mais próximo como razão (r) de 0,96. Quanto à significância estatística, o z -score foi igual a -1,61 e o p -value a 0,11. A análise conjunta desses parâmetros aponta para não rejeitar a hipótese nula, indicando que a distribuição espacial das sedes municipais é aleatória.

Tratando da distribuição espacial dos convênios, \bar{d}_o foi de 12,1 km, \bar{d}_e de 22,3 km e, conseqüentemente, d foi -10,2 km e r foi 0,54. Quanto à significância estatística, o z -score foi igual a -10,41 e p -value a 0,00. Esses parâmetros apontam para rejeitar a hipótese nula, podendo-se afirmar, com alto nível de confiança estatística, que há aglomeração de convênios.

A elaboração de mapas utilizando interpoladores de kernel possibilitou uma visão mais clara da distribuição espacial dos convênios na área de estudo, permitindo identificar visualmente áreas com maior aglomeração de convênios.

4.2.3 Cronograma de execução das obras

Neste subitem demonstra-se a viabilidade de avaliar remotamente o cronograma de execução das obras. Buscou-se identificar a seguinte situação: “obras paralisadas, em ritmo lento ou não iniciadas com atraso superior a dois anos”, caracterizando esse tipo de ocorrência como um achado de auditoria.

Inicialmente, utilizaram-se os dados constantes dos próprios sistemas de informações dos concedentes (SNIC e SISMOC). Porém, quando da análise dessas fontes, foram identificadas inconsistências referentes à real situação do andamento das obras. Para dar mais confiabilidade à

informação gerada, quando da análise da situação do andamento das obras (não iniciadas, em execução, paralisada ou concluída), consideraram-se os seguintes critérios adicionais:

- (i) as obras classificadas no sistema de informação do concedente como “paralisadas”, continuam com essa classificação;
- (ii) as obras classificadas como “em execução”, devem ser classificadas como “paralisadas”, quando o conveniente apresentou relatório parcial, mas está há mais de 6 meses sem nova liberação de recursos. Essa situação configura que o conveniente executou parte dos serviços e solicitou nova parcela de recursos, porém ainda não foi concedido. Ressalta-se que o Ministério das Cidades já propõe a classificação das suas obras como paralisadas nos casos em que elas estiverem sem desbloqueio financeiro há mais de três meses consecutivos (MCIDADES, 2014b, p. 28–30);
- (iii) as obras classificadas como “em execução”, devem ser classificadas como “em execução - ritmo lento”, quando o convênio tem mais de dois anos de início da vigência, está com menos de 50% de execução e a última liberação de recursos ocorreu há mais de 1 ano. Esclarece-se que, na maioria dos casos analisados, os convênios tinham prazo de vigência de dois anos (para execução completa do objeto) e os cronogramas previstos em contrato para execução das obras estabeleciam o prazo de 1 ano para conclusão da obra. Considerando essas colocações, não é razoável um convênio com mais de dois anos de início da vigência, com obras com menos de 50% de execução e que está há mais de um ano da última liberação de recursos. Os convênios que estão atrasados em relação ao cronograma inicial, mas cuja situação não se enquadra como “em execução - ritmo lento”, devem ser classificados como “em execução”; e
- (iv) as obras classificadas como “não iniciadas”, devem ser classificadas como “não iniciadas - atraso 2 anos”, quando o convênio tem mais de dois anos de início da vigência. Constatou-se que, em geral, inicialmente os convênios tinham prazo de vigência de dois anos para execução completa do objeto, mesmo assim, em alguns casos, passados dois anos de início da vigência, as obras não foram sequer iniciadas.

Subsidiariamente, foram confrontados os resultados obtidos com dados oriundos das diligências (a exemplo da data de realização da licitação, data de início da obra e data prevista para o término) e outros a que se teve acesso, tais como provenientes dos relatórios elaborados pelo concedente.

Na sequência, listaram-se as obras classificadas como “paralisadas”, “em execução - ritmo lento” e “não iniciadas - atraso 2 anos”. Esses critérios indicam apenas os casos mais graves de atrasos. Análises dessa natureza ganham destaque devido ao problema histórico de obras inacabadas no país,

além de frequentes atrasos encontrados na execução das obras (CNI, 2014; RIBEIRO, 2012; SENADO FEDERAL, 1995; TRATA BRASIL, 2014).

Problemas relacionados à morosidade para início e conclusão das obras foram objeto de posicionamento do TCU no âmbito do Acórdão 198/2013-Plenário, que tratou de auditoria de natureza operacional sobre a governança das obras da FUNASA (TCU, 2013d). Como recomendações para mitigar a reincidência desses problemas, apontaram-se: (i) adoção de canais de integração e suporte entre as unidades da FUNASA envolvidas com convênios e entre essas unidades e os convenentes; e (ii) melhoria da gestão orçamentária e financeira dos recursos.

Essa ocorrência viola os normativos listados a seguir:

- art. 37 da Constituição Federal;
- parág. 10 do art. 2º, inc. III, IV e V do art. 7º, inc. II do parág. 4º do art. 21 e art. 22 da Instrução Normativa STN 1/1997;
- inc. VI e VII do art. 43, art. 54 e inc. II do art. 68 da Portaria Interministerial CGU/MF/MP 507/2011;
- itens 12.6, 15.1 e 15.2 do Manual de Instruções para Contratação e Execução dos Programas e Ações do Ministério das Cidades; e
- inc. II do art. 4º, inc. II, III e IV do art. 5º e art. 14 da Portaria FUNASA 902/2013.

Entre as possíveis causas levantadas, têm-se: atraso na aprovação do projeto, problemas no projeto inicial (projeto deficiente ou desatualizado), irregularidades nos boletins de medição apresentados pelos convenentes aos concedentes, obras abandonadas pelas licitantes vencedoras, deficiência operacional da empresa contratada, deficiência de fiscalização, deficiência operacional do conveniente, utilização dos recursos do convênio em fins diversos e defasagem do orçamento.

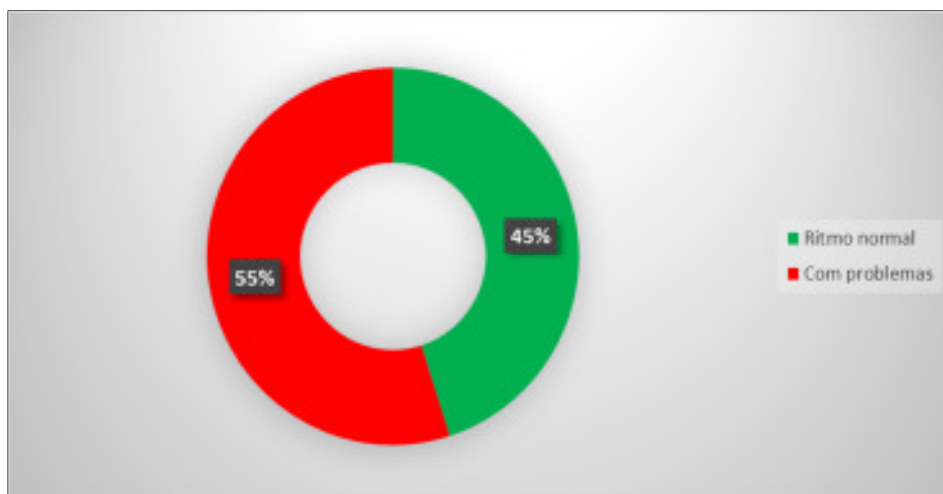
Entre os efeitos/ consequências, destacam-se: obras inacabadas, não atingimento dos objetivos almejados, convênios não concluídos e deterioração da obra antes mesmo do início de operação.

Aplicação experimental

Identificou-se que 64 (45%) dos 142 convênios examinados apresentaram situação considerada normal. Os outros 78 (55%) apresentaram problemas no cronograma, caracterizando a ocorrência do achado intitulado “obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas com atraso superior a dois anos”. Os critérios indicam apenas os casos mais graves de atrasos, portanto, quando a situação foi classificada como “normal”, aponta-se que a obra não se encontrava nos critérios estabelecidos para caracterizar a ocorrência do achado de auditoria, o que não quer dizer que o empreendimento esteja dentro do cronograma inicialmente estabelecido.

Síntese da amostra de convênios analisada, com indicação do percentual que foi encontrado este achado, consta da Figura 44.

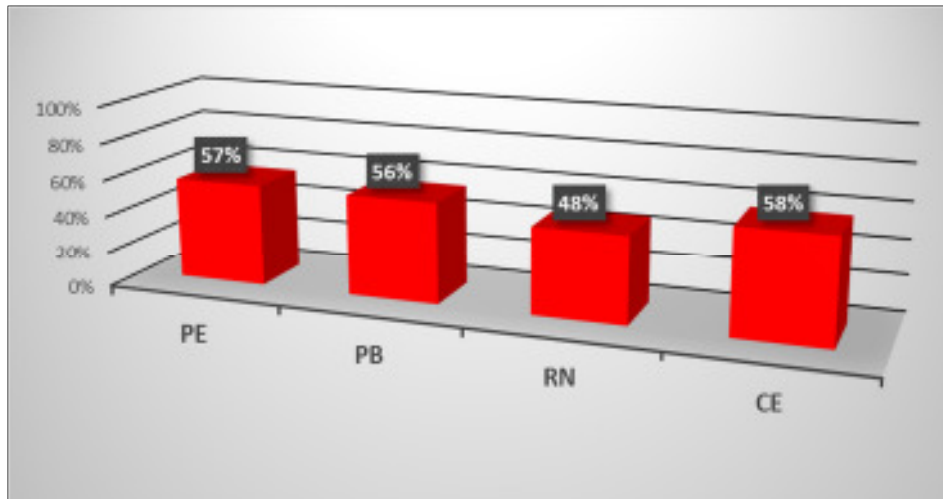
Figura 44 - Situação do cronograma de execução das obras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao percentual de incidência deste achado em cada estado da área de estudo, constata-se certa uniformidade entre eles (Figura 45).

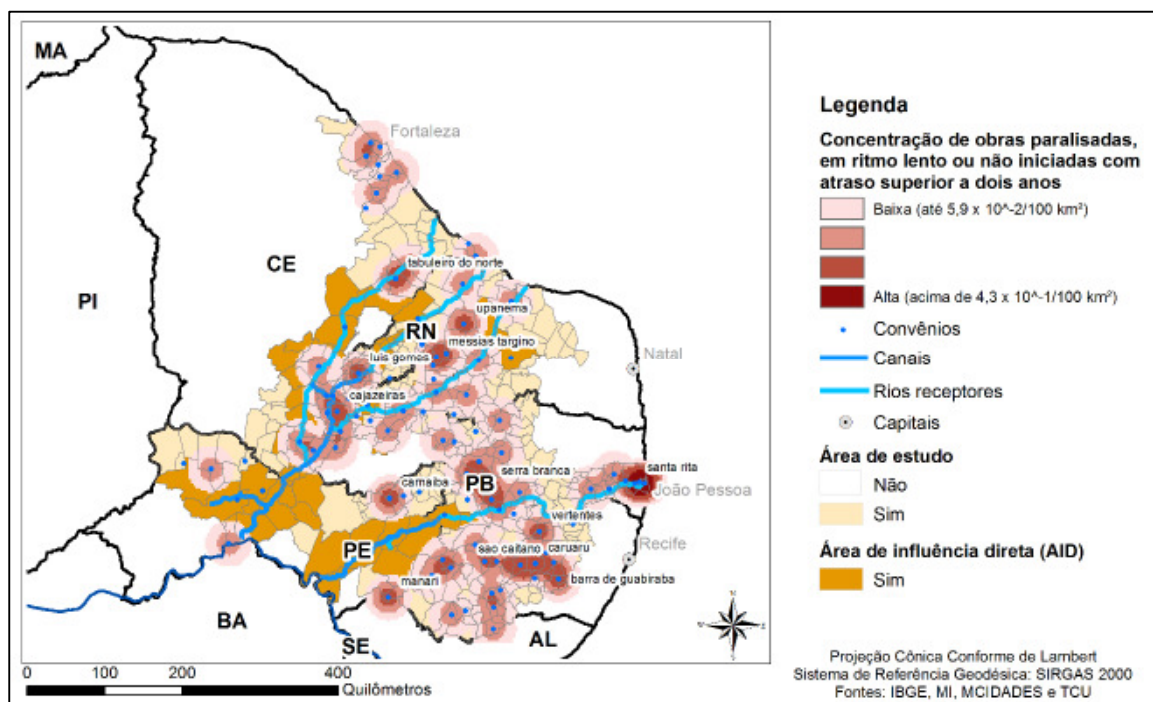
Figura 45 - Obras com problemas no cronograma em cada estado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em análise da distribuição espacial deste achado, identificam-se várias áreas com maior concentração da ocorrência, a exemplo das proximidades de São Caetano e Caruaru-PE, João Pessoa e Santa Rita-PB (Figura 46).

Figura 46 - Mapa das obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas com atraso superior a dois anos

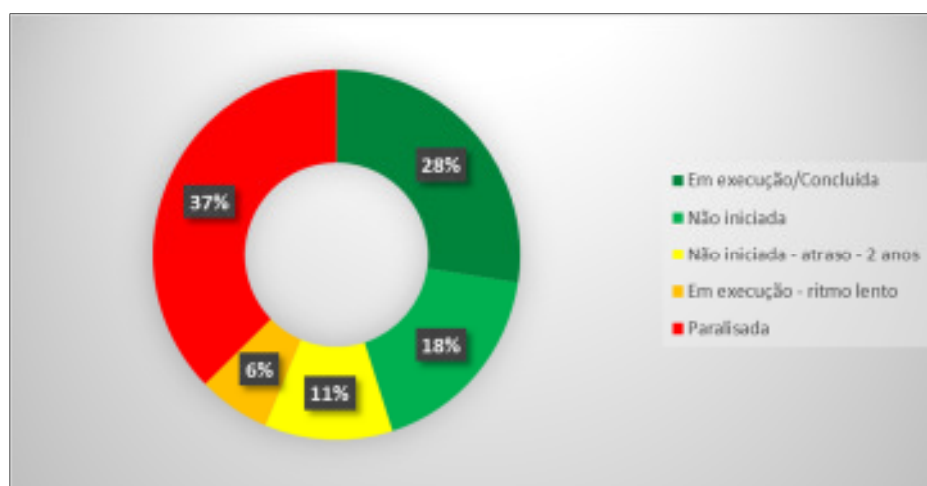


Fonte: Elaborado pelo autor.

Acrescentado estatística espacial, observa-se que a distribuição da ocorrência apresentou \bar{d}_0 de 17,8 km, \bar{d}_e de 29,8 km, d de -12,0 km e r de 0,60. Quanto à significância estatística, o z -score foi igual a -6,80 e p -value a 0,00. Aponta-se para rejeitar a hipótese nula, indicando, com alto nível de confiança estatística, a existência de aglomerações de obras com problemas no cronograma.

Mais detalhes da situação dos 142 convênios consta na Figura 47. Considerou-se como achado as 53 obras paralisadas (37%), as nove em ritmo lento (6%) e as 16 não iniciadas com atraso superior a dois anos (11%).

Figura 47 - Detalhamento da situação do cronograma de execução das obras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para ilustrar a situação encontrada, citam-se dois exemplos concretos desta ocorrência:

- Convênio SIAFI 636695: firmado entre a FUNASA e o Governo de Pernambuco em 2007, para construção do SES do município de Pedra-PE, com valor total de R\$ 3,4 milhões. De acordo com o SIGESAN, as obras ainda não haviam sido iniciadas, mesmo já tendo sido repassado R\$ 1,2 milhão pela FUNASA no segundo semestre de 2012; e
- Convênio SIAFI 646291: firmado entre o Ministério das Cidades e a Prefeitura de Icó-CE em 2008, cujo objeto é a ampliação do SES, com valor de R\$ 4,2 milhões. O objeto ainda não havia sido concluído e as obras estavam paralisadas. De acordo com o SNIC, a obra estava paralisada com 30% de avanço. Em inspeção *in loco* confirmou-se a paralisação e constatou-se que os sucessivos aditivos ao contrato firmado demonstravam dificuldades de gestão da prefeitura na condução do empreendimento. Além disso, os recursos previstos não seriam suficientes para conclusão da 2ª etapa da obra.

Nas inspeções *in loco* constataram-se várias obras paralisadas com etapas concluídas, mas sem uso e com sinais de deterioração antes mesmo do início de operação. Além disso, evidenciaram-se significativos e reiterados atrasos nos cronogramas previstos e situações em que as alterações nos projetos resultaram em diminuição do escopo ou risco da não conclusão dos empreendimentos por falta de recursos orçamentários.

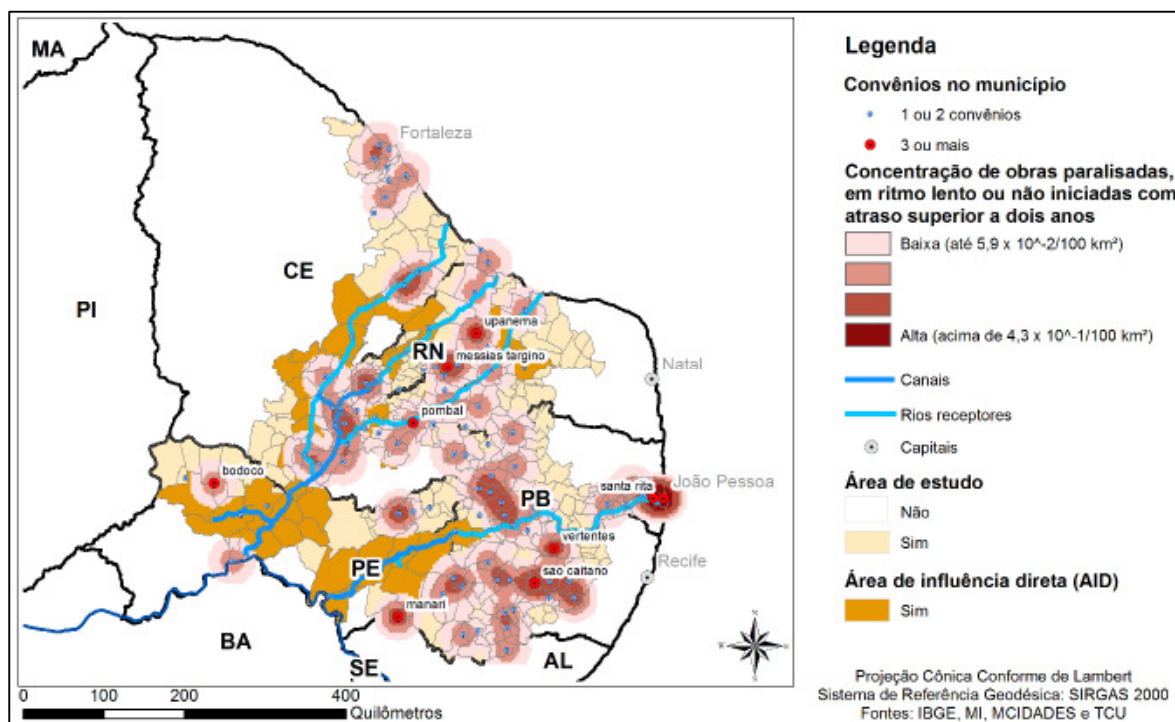
Mesmo com reiterados atrasos e dificuldades para conclusão das obras, observaram-se também várias situações indesejadas em que foram firmados novos convênios antes mesmo da conclusão dos ajustes anteriores nos mesmos municípios. A análise das informações do mapa da Figura 48 e da Tabela 7 - apresentadas e discutidas adiante - permite alcançar essas conclusões.

O mapa da Figura 48 destaca nove municípios com três ou mais convênios para obras de esgotamento sanitário, são eles: Manari, São Caetano, Bodocó e Vertentes-PE, João Pessoa, Santa Rita e Pombal-PB, Messias Targino e Upanema-RN. Em todos esses municípios foram identificadas obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas com atraso superior a dois anos.

Acrescenta-se que os responsáveis são obrigados a verificar a existência de ajustes, referentes a exercícios anteriores, cuja execução do objeto esteja paralisada, havendo possibilidade de encerrar os convênios nesses casos. É obrigatória também a existência de dados atualizados sobre o andamento físico e financeiro das obras (MCIDADES, 2014b, p. 27–33).

Situações como essa, infelizmente, parecem demonstrar a existência concreta de irracionalidade e paradoxo frequentemente presentes no processo de política pública (SECCHI, 2015, p. 8).

Figura 48 - Mapa da comparação da quantidade de convênios em cada município com as obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma síntese da situação desses convênios, por município, consta da Tabela 7, percebendo-se as seguintes ocorrências:

- Bodocó-PE: constavam três convênios, todos com a prefeitura municipal. Esses ajustes foram firmados em 2007, 2009 e 2014 e permaneciam inconclusos. O valor total desses convênios é de R\$ 6,9 milhões;
- Manari-PE: três convênios com a prefeitura, firmados em 2007, 2008 e 2012, todos inconclusos, com valor total de R\$ 4,1 milhões;
- São Caetano-PE: três convênios com a prefeitura, firmados em 2007, 2009 e 2012, todos inconclusos, com valor de R\$ 30,5 milhões;
- Vertentes-PE: três convênios com a prefeitura, firmados em 2010, 2011 e 2014, todos inconclusos, com valor de R\$ 3,2 milhões;
- João Pessoa-PB: sete convênios, todos firmados em 2007 com o Governo do Estado. Seis deles permaneciam inconclusos. O valor total é R\$ 23,7 milhões;
- Pombal-PB: três convênios com a prefeitura. Foram firmados em 2009, 2011 e 2014, todos inconclusos, com valor de R\$ 16,6 milhões;
- Santa Rita-PB: três convênios com o Governo do Estado, todos em 2007, com valor total de R\$ 13,0 milhões;

- Messias Targino-RN: três convênios com a prefeitura, em 2007, 2008 e 2011, todos inconclusos, com valor de R\$ 2,6 milhões; e
- Upanema-RN: quatro convênios com a prefeitura, em 2007, 2008, 2009 e 2011, todos inconclusos, com valor de R\$ 9,2 milhões.

Tabela 7 - Municípios com três ou mais convênios

UF	Órgão concedente	Esfera adm.	Município	Início vigência	Valor pactuado (R\$)	Situação da obra
PE	FUNASA	Municipal	Bodocó	31/12/2007	4.045.855,32	Em execução
PE	FUNASA	Municipal	Bodocó	31/12/2009	1.044.628,00	Paralisada
PE	FUNASA	Municipal	Bodocó	07/05/2014	1.835.931,73	Não iniciada
PE	FUNASA	Municipal	Manari	31/12/2007	1.855.999,99	Em execução
PE	FUNASA	Municipal	Manari	31/12/2008	985.046,88	Paralisada
PE	FUNASA	Municipal	Manari	08/06/2012	1.241.770,00	Paralisada
PE	FUNASA	Municipal	São Caetano	31/12/2007	4.979.459,18	Paralisada
PE	FUNASA	Municipal	São Caetano	31/12/2009	1.890.989,49	Em execução - ritmo lento
PE	FUNASA	Municipal	São Caetano	29/05/2012	23.617.758,21	Não iniciada - atraso 2 anos
PE	FUNASA	Municipal	Vertentes	31/12/2010	408.163,27	Não iniciada - atraso 2 anos
PE	FUNASA	Municipal	Vertentes	30/12/2011	918.367,35	Não iniciada - atraso 2 anos
PE	FUNASA	Municipal	Vertentes	07/05/2014	1.913.484,06	Não iniciada
PB	MCIDADES	Estadual	João Pessoa	14/09/2007	8.338.225,93	Paralisada
PB	MCIDADES	Estadual	João Pessoa	14/09/2007	1.377.684,15	Concluída
PB	MCIDADES	Estadual	João Pessoa	14/09/2007	2.711.551,87	Paralisada
PB	MCIDADES	Estadual	João Pessoa	20/09/2007	2.706.563,62	Paralisada
PB	MCIDADES	Estadual	João Pessoa	17/10/2007	1.216.051,81	Paralisada
PB	MCIDADES	Estadual	João Pessoa	17/10/2007	2.563.761,07	Em execução
PB	MCIDADES	Estadual	João Pessoa	17/10/2007	4.745.025,99	Paralisada
PB	FUNASA	Municipal	Pombal	31/12/2009	5.082.795,00	Paralisada
PB	FUNASA	Municipal	Pombal	21/12/2011	8.000.000,00	Em execução
PB	FUNASA	Municipal	Pombal	07/05/2014	3.528.621,05	Não iniciada
PB	MCIDADES	Estadual	Santa Rita	14/09/2007	1.601.976,34	Paralisada
PB	MCIDADES	Estadual	Santa Rita	14/09/2007	4.894.193,14	Paralisada
PB	MCIDADES	Estadual	Santa Rita	14/09/2007	6.542.015,99	Paralisada
RN	FUNASA	Municipal	Messias Targino	31/12/2007	518.542,20	Paralisada
RN	FUNASA	Municipal	Messias Targino	31/12/2008	773.286,17	Em execução
RN	FUNASA	Municipal	Messias Targino	21/12/2011	1.339.986,82	Paralisada
RN	FUNASA	Municipal	Upanema	31/12/2007	1.546.470,46	Paralisada
RN	FUNASA	Municipal	Upanema	31/12/2008	1.030.456,54	Paralisada
RN	FUNASA	Municipal	Upanema	31/12/2009	1.030.358,40	Em execução
RN	FUNASA	Municipal	Upanema	21/12/2011	5.635.609,86	Em execução

Fonte: Elaborada pelo autor (2016).

O CDOP possibilitou avaliar o cronograma de execução das obras, identificando elevado percentual de obras com risco quanto à conclusão, pois estavam paralisadas, em ritmo lento ou, apesar de terem mais de dois anos de início da vigência do convênio, sequer foram iniciadas.

Avaliações como essa são relevantes para a gestão ambiental e de recursos hídricos. Pouco adianta, por exemplo, planos de bacia hidrográfica com previsão de vultosos investimentos para preservação do meio ambiente, com medidas estruturantes de desassoreamento, replantio das matas ciliares, combate à erosão, coleta e disposição de resíduos sólidos etc., se as obras efetivamente não forem concluídas. Além dos custos ecológicos e sociais, há também prejuízo econômico (CNI, 2014).

Ademais, destaca-se o potencial de contribuição do controle social em análises dessa natureza. A existência de um portal permitido aos cidadãos prestarem informações voluntárias sobre a situação dos cronogramas de execução das obras, além de denúncias, fotos e vídeos, têm muito a contribuir para a gestão e controle, como se observa em aplicações em outras áreas (DELIPETREV; JONOSKI; SOLOMATINE, 2014; DUBA; DI MAIO, 2014; HORITA *et al.*, 2015; KIM; MARSHALL; PAL, 2014; MEDEIROS *et al.*, 2013). Acrescenta-se também o potencial de exploração de *Big Data*, em que dados dispersos sobre as obras, incluindo comentários em redes sociais e matérias na imprensa, poderiam gerar mais conhecimento a respeito.

4.2.4 Vigência dos convênios

Buscaram-se identificar as obras na seguinte situação: “convênios com objetos não concluídos com vigência vencida”, caracterizando essa ocorrência como um achado de auditoria. O procedimento consistiu em identificar os casos em que as obras não foram concluídas, mas cujos prazos de vigência dos convênios estavam vencidos. Essa verificação foi possível na medida em que se dispunha da situação das obras e dos prazos de vigência dos convênios.

Esse tipo de ocorrência foi objeto de posicionamento do TCU no âmbito do Acórdão 198/2013-Plenário, conforme trecho transcrito a seguir (TCU, 2013d):

9.2.19.4. a partir do dia seguinte ao término do prazo de vigência do convênio, notificar o conveniente a fim de obter a prestação de contas final ou instaurar tempestivamente a devida tomada de contas especial, conforme arts. 28 e ss., da IN/STN nº 1/97; 72 e ss., da Portaria Interministerial MP/MF/CGU nº 507/2011;

(...)

9.2.19.12. aperfeiçoar o controle sobre o prazo de vigência das transferências da Fundação, com fundamento nos arts. 15, da IN/STN nº 1/97; 50 e 51, da Portaria Interministerial MP/MF/CGU nº 507/2011, e tendo em vista o que consta nas Notas Técnicas, da Procuradoria Federal Especializada da Fundação Nacional de Saúde, nº 16/2011 (TC/PAC 314/07 - SIAFI 632108), 253/2011 (TC/PAC 409/07 - SIAFI 633045), 72/2011 (TC/PAC 714/07 - SIAFI 633039), dentre outras;

(...)

9.3.12.1. acompanhamento, em nível regional e nacional, de prazos e pendências relativos a instauração e conclusão de processos de prestação de contas e tomadas de contas especiais;

9.3.12.2. registro e alerta sobre prazos para conclusão das fases processuais, estipulados por normas, determinações ou recomendações relativas à instauração de tomadas de contas especiais de transferências;

9.3.12.3. extração de relatórios gerenciais das informações mencionadas nos itens 9.3.12.1 e 9.3.12.2;

9.3.13. para cumprimento das recomendações do item 9.3.12, considere a possibilidade de uso de sistemas já implantados em outros órgãos e entidades públicos, desde que se mostrem economicamente mais vantajosos e compatíveis com a estrutura e as necessidades da Fundação e das unidades/órgãos de controle interno e externo;

A situação viola os normativos listados a seguir:

- art. 37 da Constituição Federal;
- parág. 10 do art. 2º, inc. III, IV e V do art. 7º, inc. V e VI do art. 8º, inc. II do parág. 4º do art. 21 e art. 22 da Instrução Normativa STN 1/1997;
- inc. VI e VII do art. 43, art. 54 e inc. II do art. 68 da Portaria Interministerial CGU/MF/MP 507/2011; e
- itens 15.1 e 15.2 do Manual de Instruções para Contratação e Execução dos Programas e Ações do Ministério das Cidades.

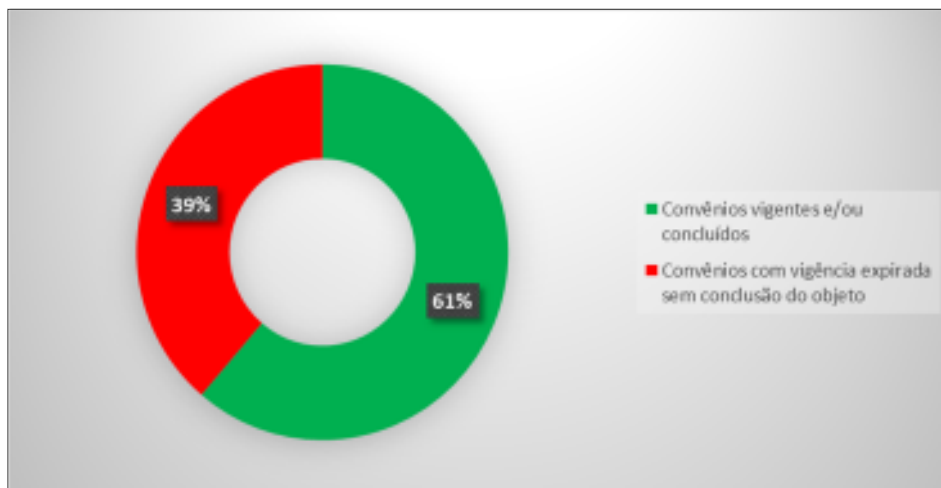
Nessa mesma linha, em análise geral, Falcão *et al.* (2013, p. 10 e 11) posicionaram-se pela impossibilidade de prorrogação de ajuste com vigência extrapolada. Diante do interesse público, a administração deve verificar a possibilidade de assinatura de um novo convênio para continuidade do objeto, sem prejuízo da apuração de responsabilidade de quem deu causa à expiração da vigência.

Entre as possíveis causas, tem-se a deficiência nos controles internos. Entre os efeitos/ consequências destacam-se: não atingimento do objeto pactuado, obras inacabadas e desperdício de recursos.

Aplicação experimental

Identificou-se que 87 convênios (61%) estavam vigentes, enquanto que 55 (39%) encontravam-se com prazo de vigência expirado, mesmo a obra não estando concluída, caracterizando a ocorrência de “convênios com objetos não concluídos com vigência vencida” (Figura 49).

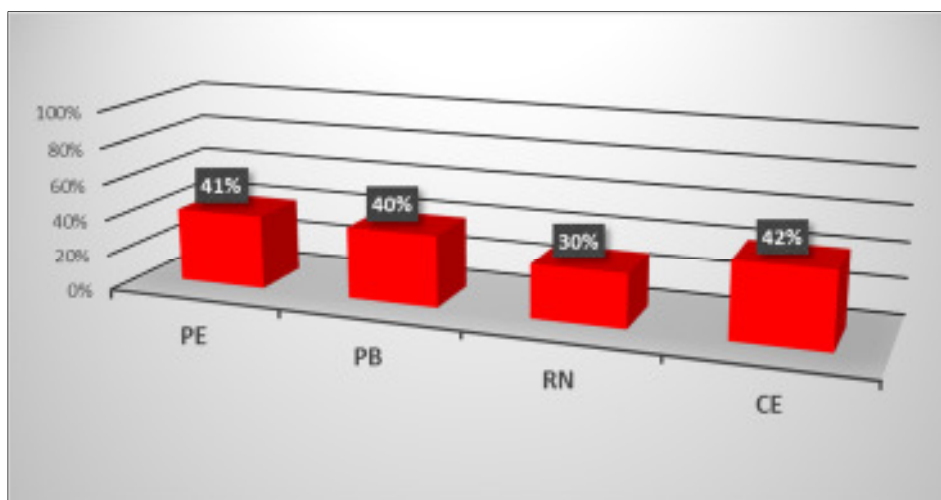
Figura 49 - Convênios não concluídos com vigência vencida



Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual de incidência em cada estado da área de estudo variou de 30 a 42%, conforme apresentado na Figura 50.

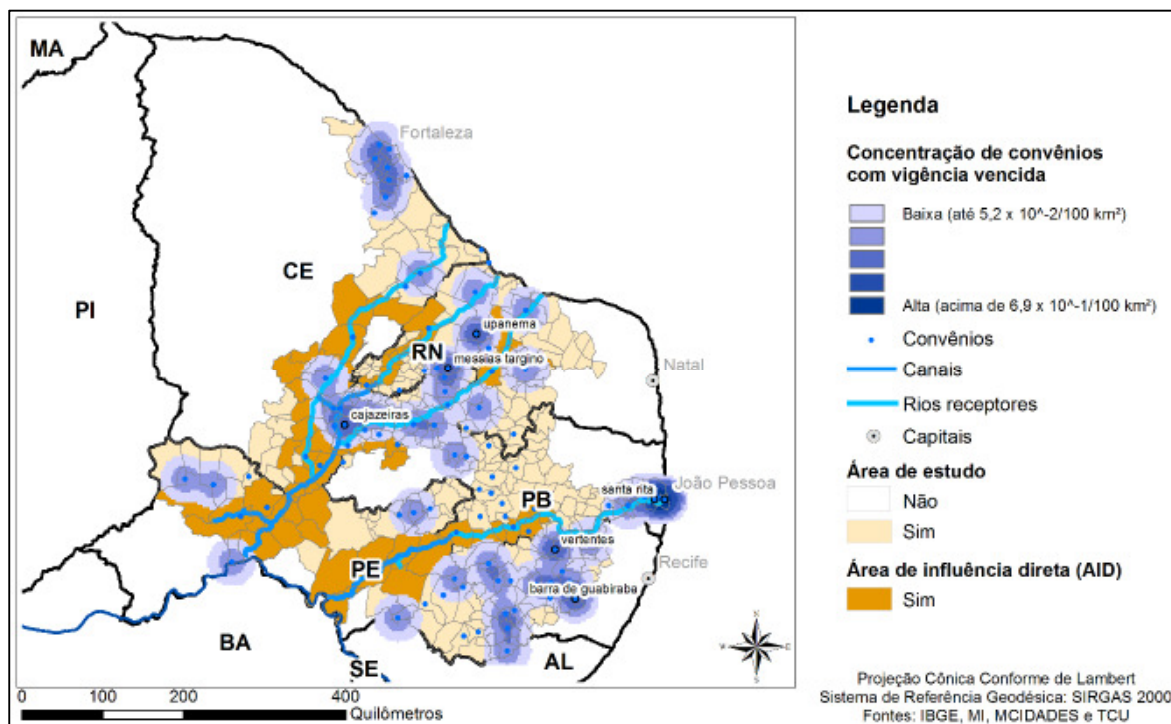
Figura 50 - Convênios vencidos em cada estado



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição espacial do problema é apresentada no mapa da Figura 51. Na elaboração desse mapa em específico, utilizaram-se cinco classes, ao invés de quatro. Em testes previamente realizados, percebeu-se que quatro classes não representaram bem esse caso. Há maior aglomeração da ocorrência nas proximidades de Barra de Guarabira e Vertentes-PE, Santa Rita, João Pessoa e Cajazeiras-PB, Messias Targino e Upanena-RN e Fortaleza-CE.

Figura 51 - Mapa dos convênios vencidos

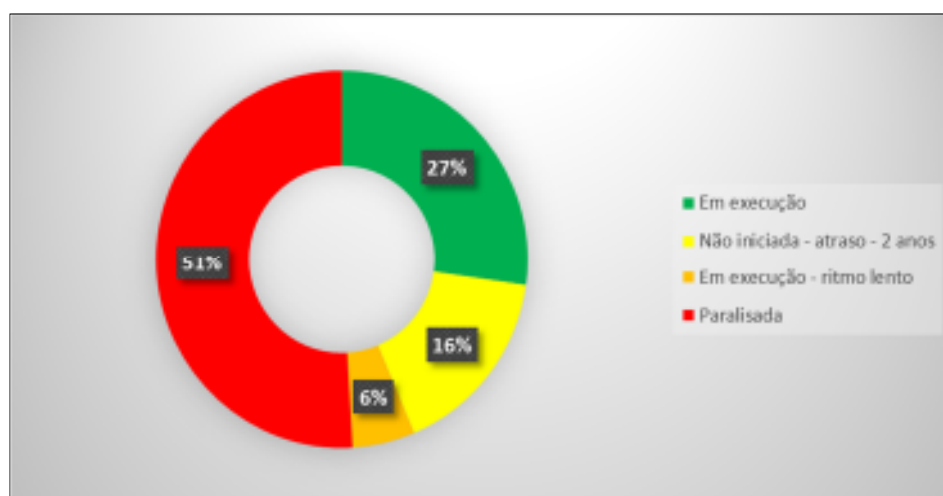


Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição espacial dos convênios com problemas de vigência apresentou \bar{d}_0 de 23,3 km, \bar{d}_c de 35,5 km, d de -12,2 km e r de 0,66. Quanto à significância estatística, o z -score foi -4,87 e o p -value foi 0,00. Rejeita-se a hipótese nula, indicando aglomeração de convênios nessa situação.

Do montante total de convênios expirados: 28 estavam com obras paralisadas (51%); três apresentavam ritmo lento de execução (6%); nove não tiveram as obras iniciadas (16%); e 15 estavam em execução (27%). A situação desses 55 convênios consta na Figura 52.

Figura 52 - Situação das obras referentes aos convênios com vigência vencida



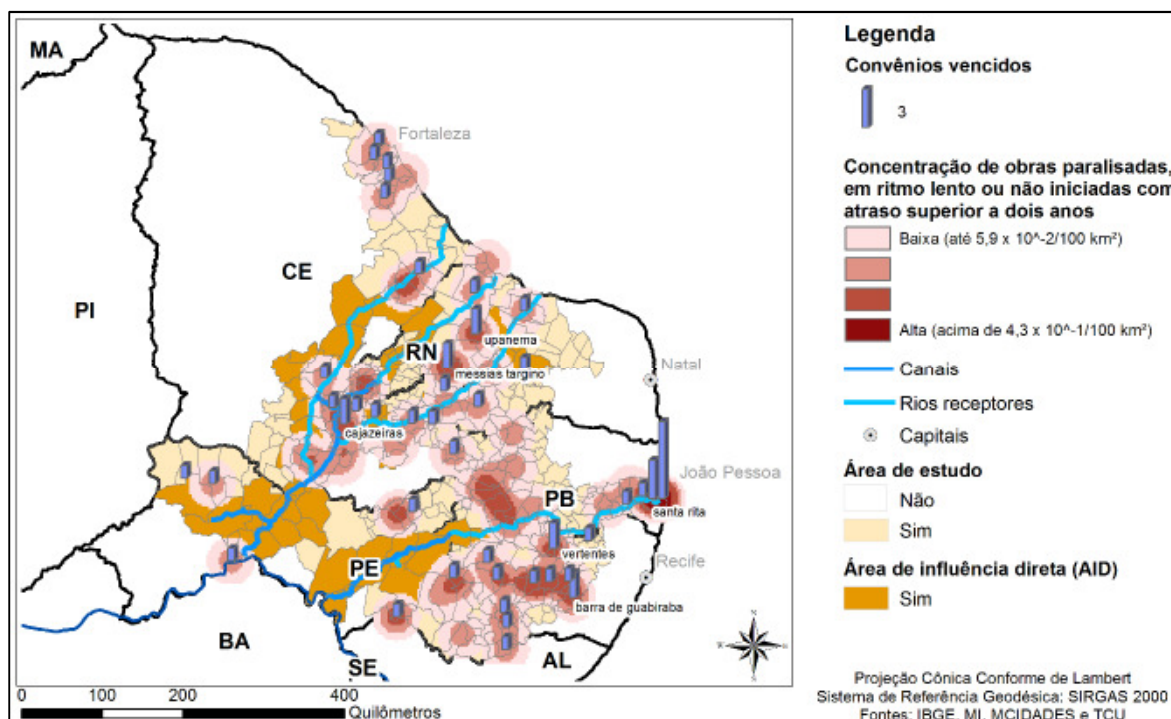
Fonte: Elaborado pelo autor.

Citam-se dois exemplos concretos deste achado:

- Convênio SIAFI 604685: firmado entre o MCIDADES e o Governo da Paraíba em 2007, para ampliação do SES de Cajazeiras-PB, com valor de R\$ 7,3 milhões. De acordo com os sistemas consultados, as obras estavam paralisadas com cerca de 50% de avanço, mas a vigência do convênio findou-se em 28/9/2014. Foi constatado em inspeção *in loco* que, pelo fato da obra não estar concluída, o esgoto das residências continuava fluindo para destinos impróprios; e
- Convênio SIAFI 666558: firmado entre a FUNASA e a Prefeitura de São João do Rio do Peixe-PB em 2010, para execução do SES nesse município, com valor de R\$ 5,5 milhões. As obras estavam em execução com 80% de avanço, mas a vigência do convênio findou-se em 26/10/2014.

Em comparação entre os convênios vencidos e as obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas verifica-se que boa parte das áreas com maior aglomeração de problemas no cronograma estava também com convênios vencidos. É o caso de Barra de Guarabira e Vertentes-PE, Santa Rita, João Pessoa e Cajazeiras-PB, Messias Targino e Upanema-RN (Figura 53).

Figura 53 - Mapa da comparação dos convênios vencidos com as obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

O CDOP apontou significativo quantitativo de obras com situação de risco quanto à conclusão, caracterizado pelo término da vigência dos convênios mesmo as obras estando inconclusas. Esse

cenário mostra-se preocupante, podendo resultar em obras inacabadas, sem que a população tenha acesso aos benefícios previstos.

4.2.5 *Licenciamento ambiental*

Cruzaram-se os dados dos convênios com as licenças de instalação emitidas, procurando “obras com licença ambiental de instalação vencida”. Uma vez identificada a licença de instalação da obra, os dados dos órgãos ambientais permitiram verificar sua vigência.

Houve limitações nas análises em face da ausência de chave-única para relacionar os convênios às licenças. Acrescenta-se que as descrições dos objetos das licenças são genéricas, dificultando correlacionar a licença ao respectivo convênio, conforme mencionado no subtítulo “3.2.2 - *Análise das fontes de informações*”, quando se discutiu a respeito dos dados tabulares.

No âmbito do Acórdão n. 402/2011-Plenário, o TCU indicou algumas medidas para melhorar a gestão de ajustes firmados pelo MCIDADES, com interveniência da CAIXA, no tocante às licenças ambientais (TCU, 2011b). O Tribunal identificou que 32% das obras auditadas *in loco* apresentaram problemas referentes ao licenciamento ambiental, em especial quanto à obtenção da licença em data posterior ao início da obra.

O processo de licenciamento ambiental é complexo, envolve tempo, recurso financeiro e muitas vezes é cercado de incertezas quanto aos procedimentos e estudos necessários. Por outro lado, o atendimento à legislação ambiental resulta em uma atuação mais compatível com o meio ambiente, além de trazer maior segurança ao empreendedor no gerenciamento da obra, evitando possíveis problemas de embargos e paralisações (CNI, 2014; TCU, 2007a).

Situação semelhante ocorre com as licenças ambientais vencidas, cuja não prorrogação ou renovação tempestiva indica riscos ao meio ambiente, seja em função de eventuais alterações no projeto com consequências danosas ao meio ambiente, ou possíveis interrupção dos trabalhos.

Essa situação viola os seguintes normativos:

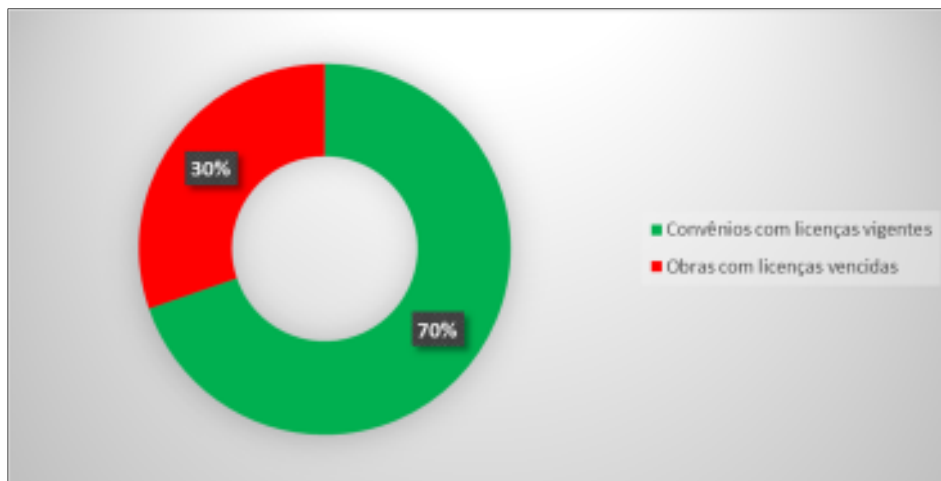
- art. 10 da Lei 6.938/1981;
- art. 4º da Resolução Conama 1/1986; e
- art. 18 da Resolução Conama 237/1997.

Entre as possíveis causas, apontam-se: deficiência nos controles internos e alterações de projeto não aprovadas pelo órgão ambiental. Entre os efeitos/ consequência, destacam-se: paralisação/ atraso da obra por falta de licenciamento e execução em desacordo com exigências ambientais.

Aplicação experimental

O achado “obras com licença ambiental de instalação vencida” foi identificado em 42 (30%) do total de 142 convênios (Figura 54).

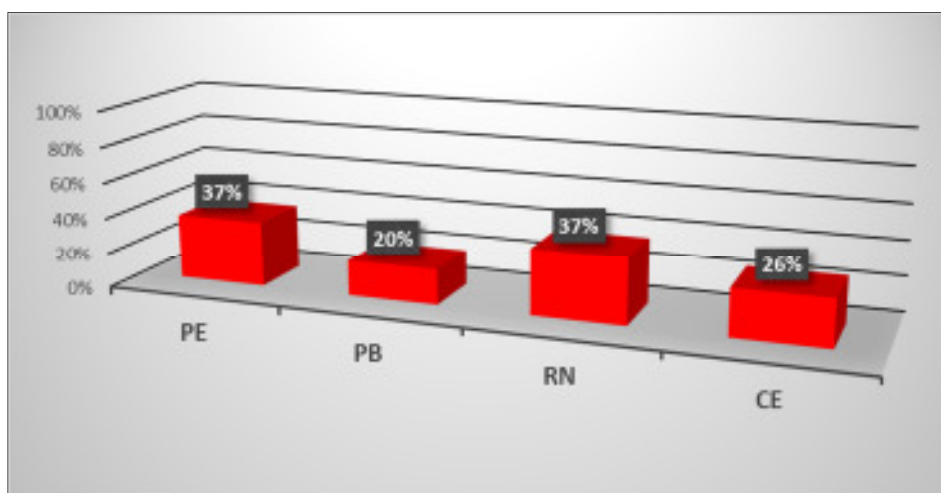
Figura 54 - Obras em execução ou paralisadas com licença ambiental vencida



Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual de incidência deste achado nos quatro estados analisados teve variação de 20% a 37% (Figura 55).

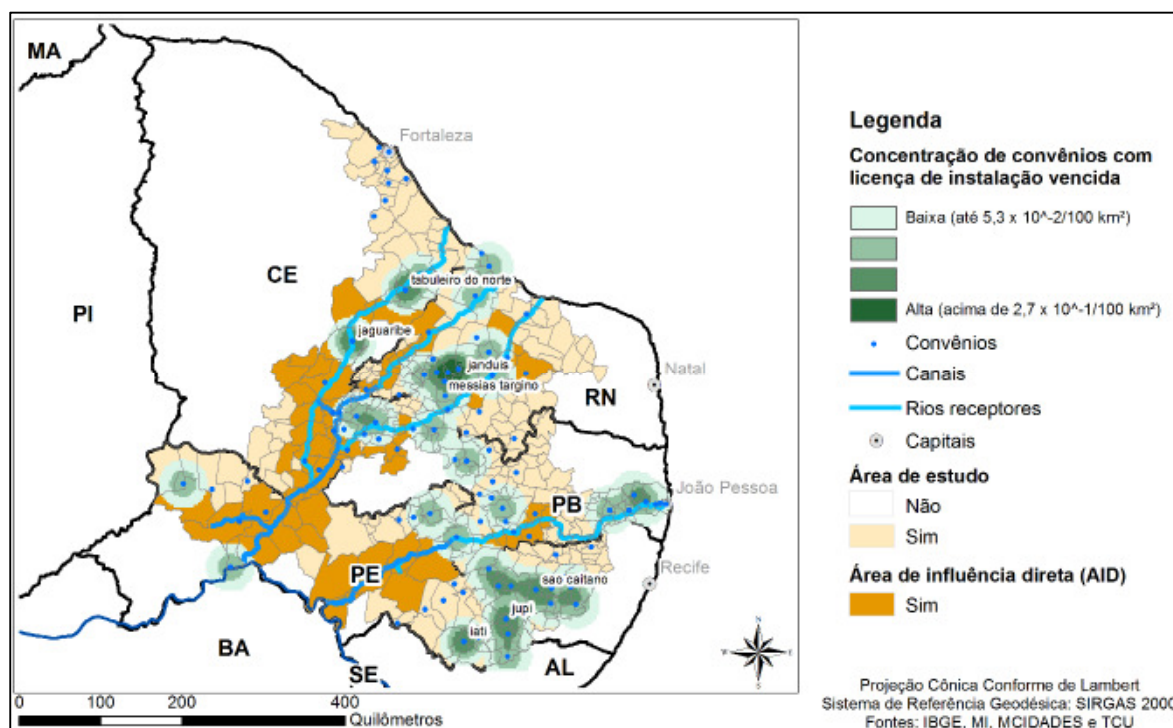
Figura 55 - Convênios com licenças de instalação vencidas em cada estado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em análise da distribuição espacial da ocorrência, identifica-se maior aglomeração nas proximidades de Iati, Jupi e São Caetano-PE, Messias Targino e Janduís-RN, Jaguaribe e Tabuleiro do Norte-CE (Figura 56).

Figura 56 - Mapa dos convênios com licença de instalação vencida



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição espacial teve \bar{d}_o de 23,8 km, \bar{d}_e de 35,1 km, d de -11,3 km e r de 0,68, com z -score igual a -3,99 e p -value de 0,00. Portanto, rejeita-se a hipótese nula, adotando-se a hipótese alternativa da existência de aglomeração de obras iniciadas com licença vencida.

Citam-se dois exemplos concretos deste achado:

- Convênio SIAFI 672417, firmado entre a FUNASA e a Prefeitura de Correntes-PE em 2012, com valor de R\$ 9,1 milhões. As obras estavam com 35% de execução. Ocorre que, de acordo com as informações prestadas pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco, a licença de instalação da obra estava vencida; e
- Convênio SIAFI 668734, firmado entre a FUNASA e a Prefeitura de Jucurutu-RN em 2011, com valor de R\$ 7,7 milhões. As obras estavam paralisadas com 70% de avanço. Em inspeção *in loco* constatou-se que ainda estavam pendentes de execução a complementação da rede coletora, as instalações das estações elevatórias, ligações domiciliares e complementação das instalações da ETE. Conforme informações obtidas junto ao convenente, ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente e à FUNASA, a licença de instalação estava vencida desde 28/10/2012.

Com a aplicação do CDOP, constatou-se significativo quantitativo de obras com licença de instalação vencida, oportunidade em que caberia aos órgãos concedentes exigir a atuação dos convenentes para minimizar essas ocorrências, buscando conciliar a implantação dos projetos de infraestrutura com a

conservação do meio ambiente. Análises desta natureza mostram-se viáveis e interessantes para os próprios órgãos ambientais. Uma visão sistêmica e espacializada permitiria ao órgão uma atuação mais objetiva, concentrando esforços para solucionar os problemas apontados, seja cobrando dos responsáveis a adoção de medidas pendentes para renovação da licença, ou, em última instância, embargando tempestivamente as obras que poderão causar danos ambientais não previstos.

4.2.6 Capacidade operacional das empresas contratadas para execução das obras

Buscaram-se identificar “empresas com capacidade operacional incompatível com a execução da obra”. O procedimento consistiu em verificar se as construtoras contratadas tinham quantidades de funcionários compatíveis com os faturamentos das mesmas, com as seguintes consultas:

- nos sítios eletrônicos dos TCE (ou com base nas diligências realizadas) obtiveram-se dados sobre as licitações, com identificação das empreiteiras contratadas. Obteve-se também o faturamento anual das empresas oriundos das prefeituras de cada estado; e
- na página da DGI Consultas, utilizando-se o número do Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas das empresas, obtiveram-se as declarações referentes à Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), com dados sobre quantitativo de funcionários das empresas.

Como critérios para análise da compatibilidade, a capacidade operacional foi classificada como incompatível nos casos em que as despesas com pessoal foram inferiores a 10% do faturamento. O critério de 10% é conservador, tendo em vista que o gasto de uma empresa de construção civil com mão de obra pode ser da ordem de 50%, considerando que:

- o componente de mão de obra equivale a 52,54% do Custo Unitário Básico, calculado com base nos dados do mês de dezembro de 2013 pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON, 2016);
- para fins de retenção tributária do INSS, considera-se a mão de obra como 50% do valor bruto da nota fiscal (art. 122 da Instrução Normativa da Receita Federal n. 971/09); e
- foi considerado como faturamento apenas os recebimentos da empresa oriundos de prefeituras municipais, não sendo contabilizados eventuais recebimentos oriundos de outras esferas do poder público ou da iniciativa privada.

É uma indicação da incompatibilidade das empresas executoras com os contratos firmados, pois não teriam funcionários suficientes para execução dos mesmos. Por outro lado, pode indicar que a empresa não declarou seus funcionários na RAIS ou subcontratou a execução dos serviços, o que não representariam, em si, riscos quanto a execução das obras nos prazos previstos.

Há também problemas referentes a existência de fraudes quanto à adoção de empresas de fachada para realização de obras públicas, tendo como consequências sérios comprometimentos na qualidade da obra e no prazo de execução (TCU, 2012c, 2014g).

Este achado representa riscos para a conclusão dos empreendimentos nos prazos previstos. Para tentar minimizar os efeitos danosos, cabe aos concedentes exigir uma fiscalização mais atuante dos convenentes e também realizar um acompanhamento mais efetivo dos ajustes. No âmbito do Acórdão 198/2013-Plenário, foi recomendado à FUNASA que (TCU, 2013d):

9.3.2. aprimore a análise de seleção dos proponentes para que, anteriormente à distribuição dos recursos, sejam considerados selecionados apenas aqueles que apresentem reais condições estruturais para elaboração de projetos básicos, contratação e acompanhamento de obras;

9.3.4. institua mecanismos formais que disciplinem as visitas técnicas realizadas pelos Serviços de Convênios das Superintendências Estaduais, em especial, relativos à escolha das transferências a serem selecionadas e priorizadas, e às rotinas de obtenção e análise da documentação que subsidia os repasses financeiros aos convenentes;

9.3.5. formalize procedimentos a serem observados e ações a serem adotadas frente às principais irregularidades constatadas, e forneça apoio e capacitação para implementação de rotinas referentes à análise dos processos licitatórios e de contratação realizados pelos convenentes;

(...)

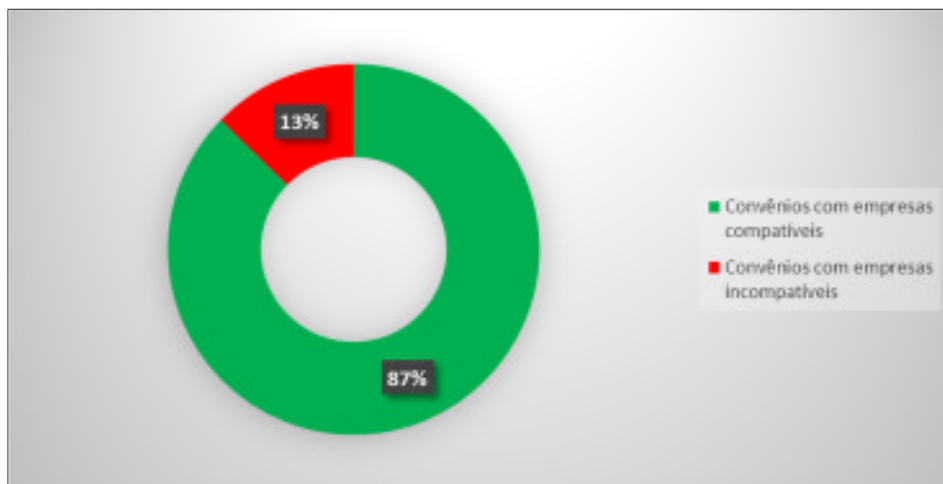
9.3.17. realize estudo para identificar as informações necessárias a serem obtidas dos convenentes, com a respectiva periodicidade, para acompanhamento pela Fundação das obras em execução;

Essa situação viola o art. 7º do Decreto 76.900/1975. Entre as possíveis causas, apontam-se: fiscalização deficiente e processo licitatório conduzido de maneira inapropriada. Entre os efeitos/consequência, destacam-se: obras inacabadas e/ou com qualidade deficiente, não atingimento dos objetivos almejados e convênios não concluídos.

Aplicação experimental

Em 18 convênios (13%) constatou-se a existência indesejável de “empresas com capacidade operacional incompatível com a execução da obra” (Figura 57).

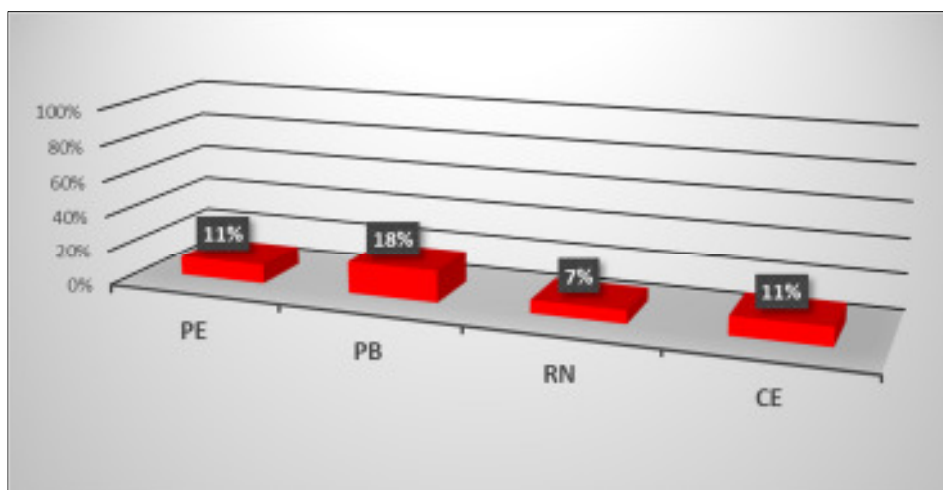
Figura 57 - Obras cujas empresas contratadas têm capacidade operacional incompatível



Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual de incidência deste achado em cada um dos quatro estados, variou de 7% no Rio Grande do Norte até 18% na Paraíba (Figura 58).

Figura 58 - Convênios com empresas incompatíveis em cada estado

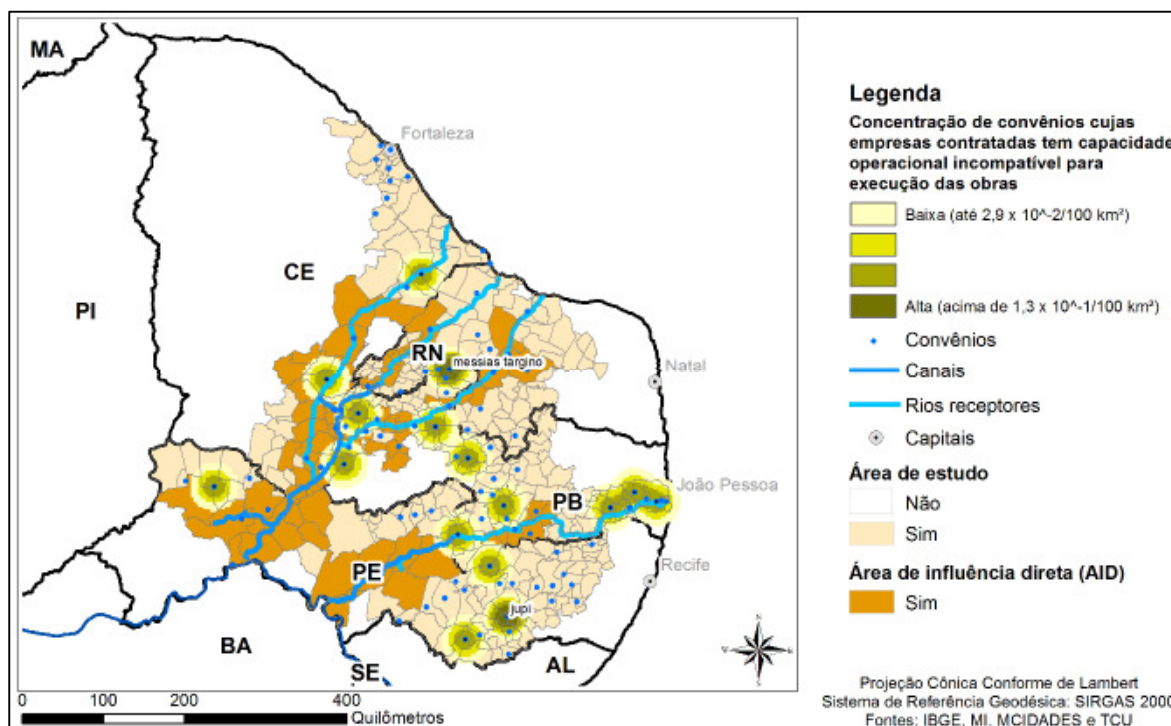


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que não foram analisados todos os convênios, pois algumas empresas não foram identificadas e, em alguns casos, os contratos para realização das obras ainda não haviam sido firmados. Os percentuais indicados representam a taxa de incidência do achado em relação ao total de convênios objeto do estudo, e não apenas aos que passaram por esta avaliação (92 convênios).

A distribuição espacial da ocorrência aponta para uma maior aglomeração nas proximidades de Jupi-PE e Messias Targino-RN (Figura 59).

Figura 59 - Mapa dos convênios cujas empresas tinham capacidade operacional incompatível com a execução das obras



Fonte: Elaborado pelo autor.

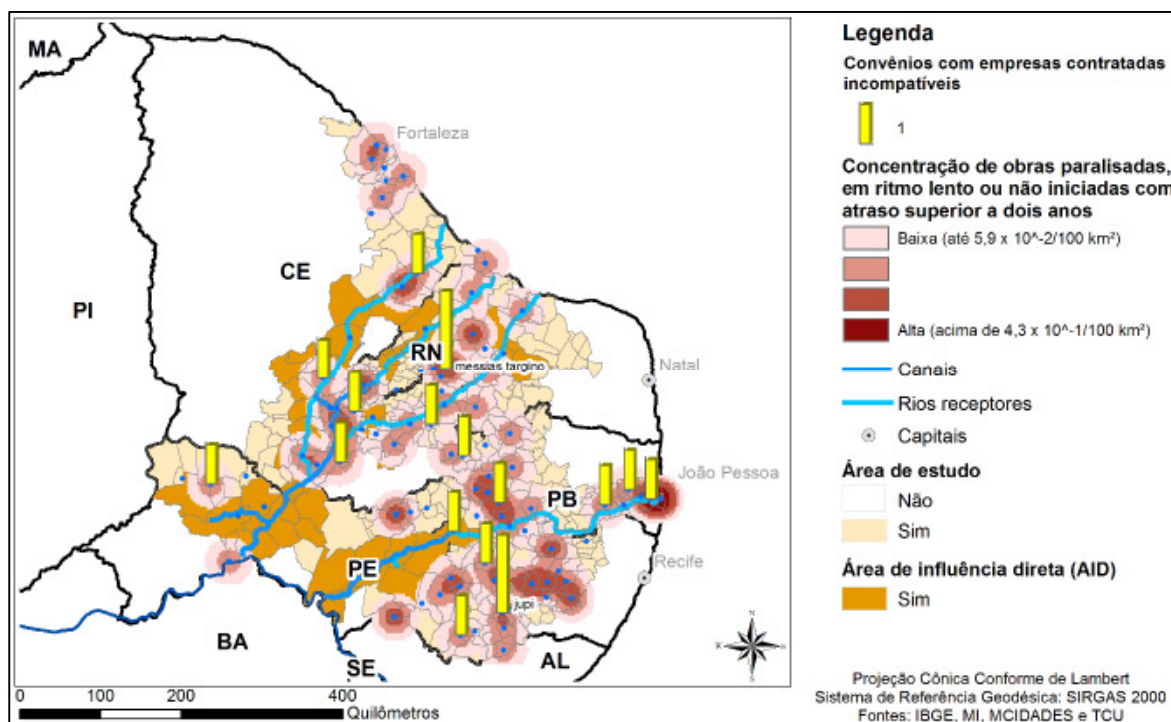
A distribuição espacial dos convênios apresentou \bar{d}_0 de 50,4 km, \bar{d}_e de 45,3 km, d de 5,1 km e r de 1,11, indicando, preliminarmente, uma tendência de dispersão. Quanto à significância estatística, z -score foi igual a 0,90 e p -value a 0,37. A análise desses parâmetros aponta para não rejeitar a hipótese nula, indicando distribuição espacial aleatória dessa ocorrência.

Citam-se como exemplos concretos da ocorrência deste achado:

- Convênio SIAFI 668765, firmado entre a FUNASA e a Prefeitura de Mogeiro-PB em 2011, com valor de R\$ 2,6 milhões. De acordo com o SIGOB, as obras estavam paralisadas com menos de 10% de execução. Em inspeção *in loco* constatou-se que as obras estavam paralisadas há mais de um ano e não havia frentes de trabalho no local. Em consulta ao sistema de informações do TCE-PB, verificou-se que a empresa contratada faturou em 2013, junto às prefeituras do estado, o montante de R\$ 408 mil, mas, de acordo com a RAIS, a empresa não teve despesas com pagamento de pessoal nesse ano; e
- Convênio SIAFI 628197, firmado entre a FUNASA e a Prefeitura de Vista Serrana-PB em 2007, com valor de R\$ 0,6 milhão. De acordo com o SIGESAN, as obras estavam em execução com 56% de avanço, tendo a última liberação de recursos ocorrido em 26/11/2013. Em consulta ao sistema do TCE-PB, verificou-se que a empresa faturou em 2013, junto às prefeituras do estado, R\$ 3,7 milhões, mas, de acordo com a RAIS, a empresa teve despesas com apenas dois funcionários, no valor total anual de R\$ 21 mil.

Em análise visual da ocorrência dos convênios com empresas incompatíveis em comparação com as obras com problemas no cronograma, não se consegue perceber relação direta entre essas ocorrências (Figura 60). Citam-se, como exemplos, os municípios de Jupi-PE e Messias Targino-RN. Em que pese ambos terem maior concentração de empresas problemáticas, no primeiro deles não se constatou o achado referente a problemas no cronograma, enquanto que no segundo se verificou.

Figura 60 - Mapa da comparação dos convênios com construtoras incompatíveis e as obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Do exposto, 13% dos convênios tem empresas contratadas com capacidade incompatível com a execução das obras, indicando dificuldades adicionais para cumprimento dos prazos das obras.

4.2.7 Movimentações financeiras das contas bancárias dos convênios

Para todo convênio firmado, o conveniente deve ter uma conta bancária exclusiva. Buscaram-se encontrar indícios de “movimentações atípicas nas contas específicas dos convênios”. A identificação das contas correntes de cada convênio foi feita considerando as transferências da União registradas no SIAFI, contempladas no DGI Consultas. Como limitação, registra-se que não foram obtidos os extratos referentes às contas da CAIXA, utilizando-se apenas os extratos obtidos no BB.

Realizaram-se as seguintes análises nas movimentações das contas: (i) ocorrência de saques em espécie; (ii) saída de recursos para outras contas dos convenientes; e (iii) verificação, para as obras não iniciadas, da ocorrência de saídas relevantes de recursos.

A realização de saques em espécie das contas bancárias dos convênios contraria os normativos legais vigentes. Essa prática dificulta o estabelecimento do nexo de causalidade⁵² entre os saques realizados e a execução do objeto pactuado, prejudicando a prestação de contas do convênio. Da mesma forma, não é permitida a movimentação dos recursos do convênio para outras contas alheias ao seu objeto.

Em alguns testes realizados, por meio da comparação das contas correntes dos convênios com os percentuais físicos de avanço das obras, procuraram-se também discrepâncias na execução físico-financeira. No entanto, esse procedimento mostrou-se inadequado, pois há uma tendência de os percentuais financeiros estarem sempre iguais ou superiores à execução física. Isso ocorre porque o percentual físico só é atualizado pelo concedente no respectivo sistema, quando sua execução é aprovada. Portanto, na maior parte do tempo, o percentual financeiro é superior ao físico, mas não indica, como se supôs inicialmente, a existência de qualquer irregularidade.

No âmbito do Acórdão n. 198/2013-Plenário, o TCU recomendou à FUNASA, entre outros, a celebração de acordo de cooperação com o Banco do Brasil para possibilitar o acesso aos extratos das contas específicas dos convênios, nos seguintes termos (TCU, 2013d):

9.3.10. celebre acordo com o Banco do Brasil para que as áreas envolvidas em atividades de acompanhamento e fiscalização de transferências acessem o sistema informatizado Repasse de Recursos de Projeto de Governo;

9.3.11. caso o acordo citado no item 9.3.10 seja celebrado, utilize o sistema informatizado Repasse de Recursos de Projeto de Governo na seleção e priorização de transferências a serem auditadas ou visitadas in loco, na análise de prestação de contas e nos demais controles relativos à utilização das contas bancárias das transferências firmadas;

Essa situação viola uma série de normativos, conforme listados a seguir:

- art. 20 da Instrução Normativa da STN 1/1997;
- art. 50 da Portaria Interministerial 127/2008;
- Acórdão n. 264/2007-1ª Câmara.
- Acórdão n. 1.099/2007-2ª Câmara;
- Acórdão n. 274/2008-Plenário;
- Acórdão n. 1.385/2008-Plenário; e
- Acórdão n. 2.831/2009-2ª Câmara.

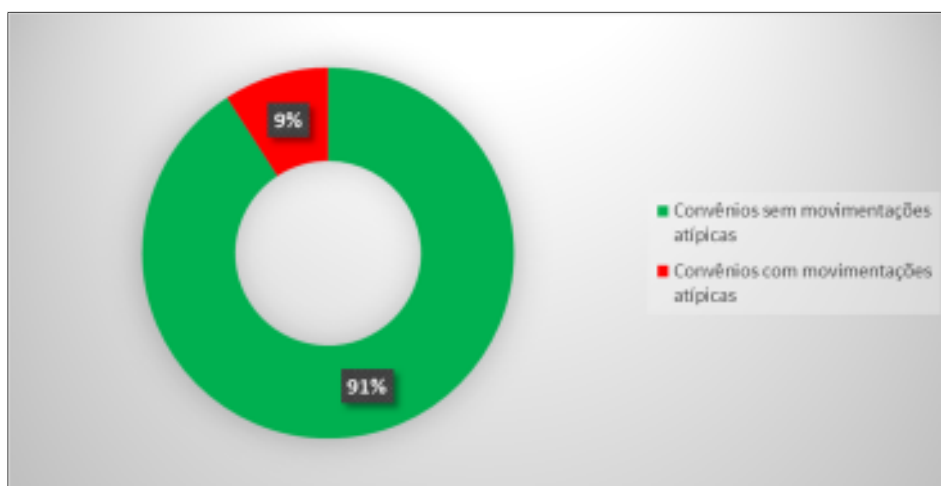
⁵² O nexo de causalidade são os elementos que permitem vincular a despesa realizada com o objeto executado, garantindo que o recurso foi aplicado no objeto conveniado.

Entre as possíveis causas, apontam-se: deficiência nos controles internos e fiscalização deficiente. Entre os efeitos/ consequência, destacam-se: utilização dos recursos do convênio em fins diversos, obras inacabadas e não atingimento dos objetivos almejados.

Aplicação experimental

O achado “movimentações atípicas nas contas específicas dos convênios” foi encontrado em 13 convênios (9%), conforme Figura 61.

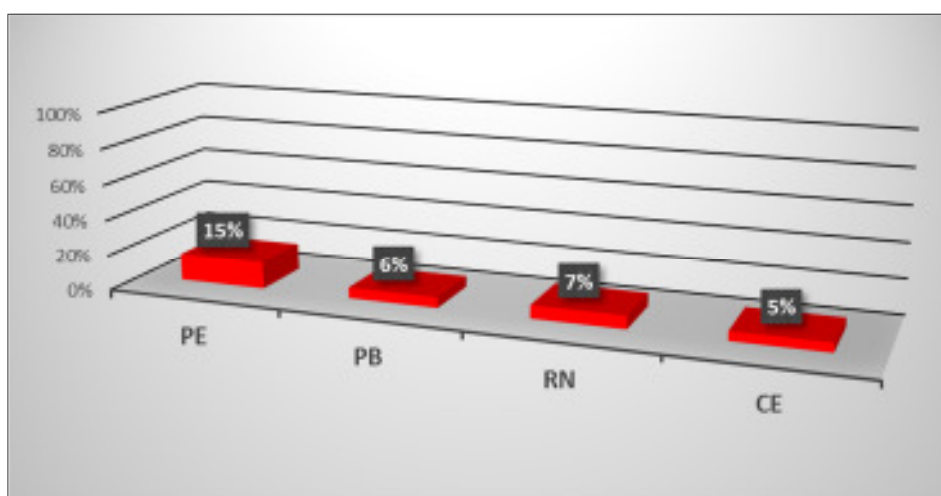
Figura 61 - Convênios com movimentações financeiras atípicas nas contas bancárias



Fonte: Elaborado pelo autor.

O percentual de incidência deste achado em cada um dos quatro estados variou de 5% no Ceará até 15% em Pernambuco (Figura 62). Os percentuais representam a taxa de incidência do achado em relação ao total de convênios objeto do estudo, e não apenas aos que foram avaliados (86 convênios).

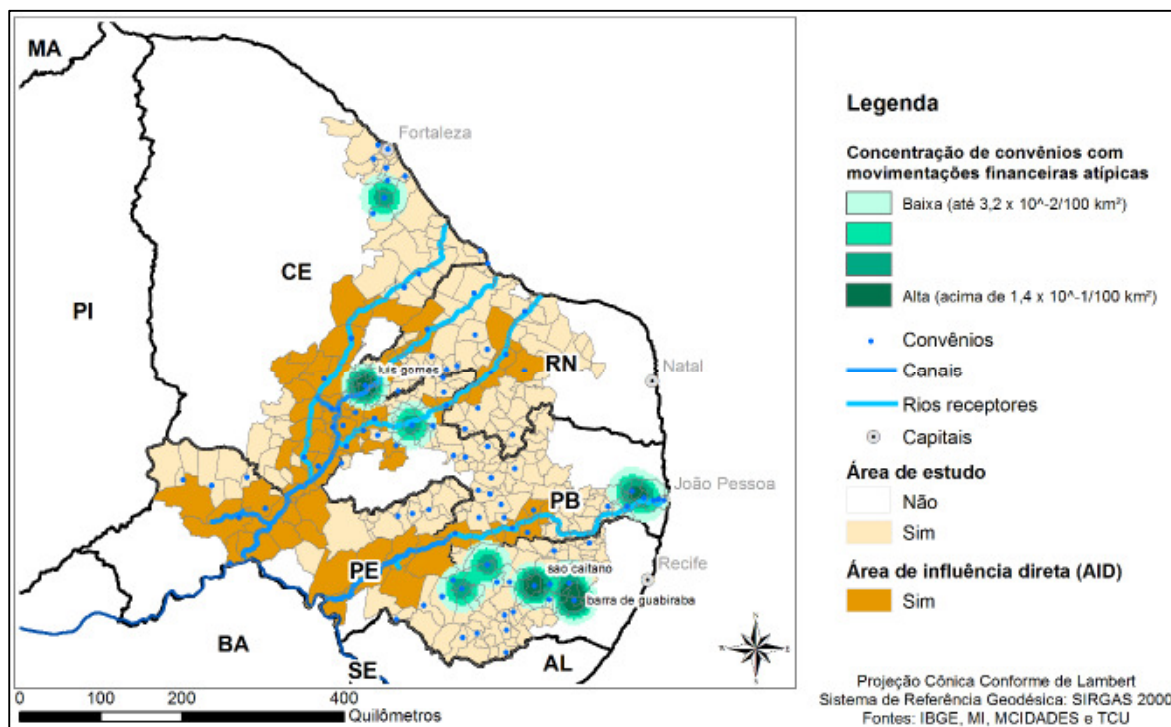
Figura 62 - Convênios com movimentações financeiras atípicas em cada estado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto à distribuição em relação aos municípios, identifica-se maior aglomeração nas proximidades de São Caetano, Barra de Guarabira-PE e Luís Gomes-CE (Figura 63). A distribuição espacial teve \bar{d}_o de 34,6 km, \bar{d}_e de 49,7 km, d de -15,1 km e r de 0,70, sendo z -score igual a -2,10 e p -value a 0,04, indicando aglomeração de convênios nessa situação.

Figura 63 - Mapa dos convênios com movimentações financeiras atípicas



Fonte: Elaborado pelo autor.

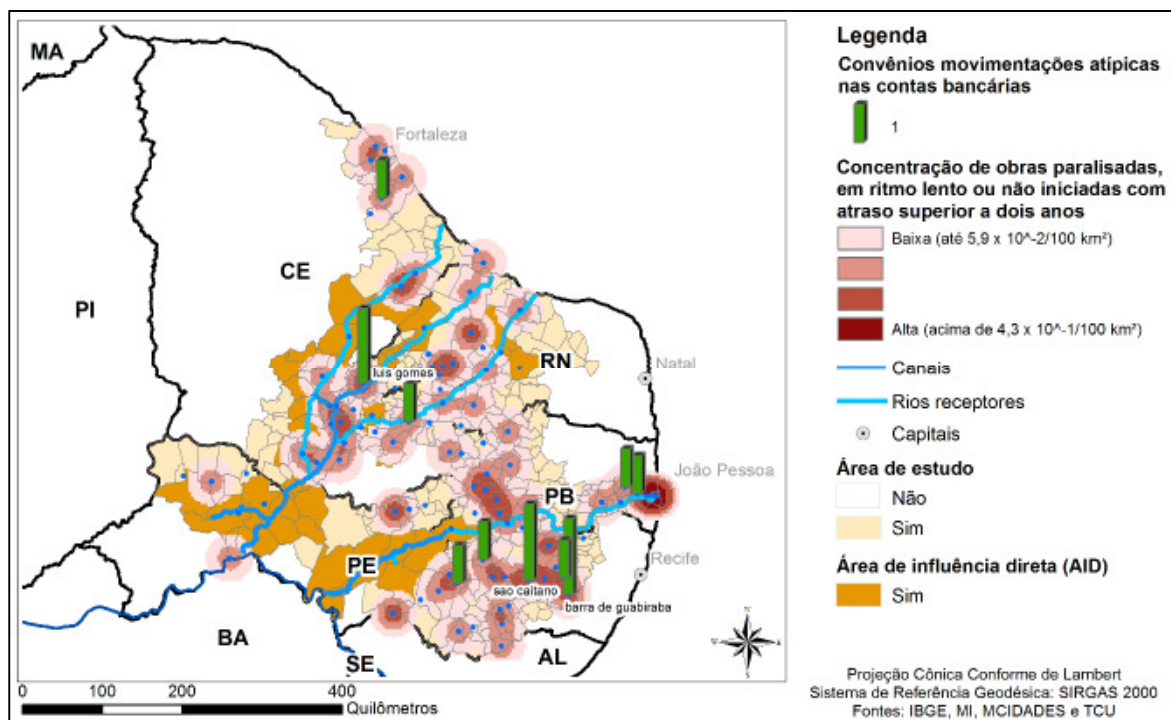
Citam-se dois exemplos concretos deste achado:

- Convênio SIAFI 649942, firmado entre a FUNASA e a Prefeitura de Sapé-PB em 2008, com valor de R\$ 5,7 milhões. De acordo com o SIGESAN, as obras estavam em andamento com 11% de avanço. Em análise do extrato bancário, verificou-se a ocorrência de seis débitos na conta do convênio, nos valores de R\$ 300.000,00, R\$ 130.000,00, R\$ 96.000,00, R\$ 300.000,00, R\$ 110.000,00 e R\$ 215.000,00, nos dias 12/07/2012, 01/08/2012, 10/08/2012, 10/08/2012, 14/08/2012 e 18/09/2012, totalizando R\$ 1,1 milhão, para transferência para outras contas da prefeitura, sem retorno para a conta do convênio; e
- convênio 657651, firmado entre a FUNASA e a Prefeitura de Pombal-PB em 2009, com valor de R\$ 5,1 milhões. De acordo com o sistema consultado, as obras estavam em execução com 70% de avanço, tendo a última liberação de recursos ocorrido em 22/3/2013. Em inspeção *in loco* verificou-se que a obra estava quase concluída, no entanto, estava paralisada e com redução no escopo inicialmente previsto. Em análise do

extrato da conta do convênio constatou-se a ocorrência de dois saques em espécie nos valores de R\$ 501.113,74 e R\$ 515.445,26.

Da comparação entre os convênios com movimentações atípicas e as obras com problemas no cronograma, observam-se que os três municípios com maior concentração de movimentações atípicas também estavam com problemas no cronograma (Figura 64).

Figura 64 - Mapa da comparação dos convênios com movimentações atípicas nas contas bancárias e obras paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Do exposto, 9% dos convênios apresentaram indícios de movimentações atípicas nas contas bancárias. Eventual celebração de acordo de cooperação entre os concedentes e as instituições bancárias possibilitaria uma atuação preventiva dos responsáveis para mitigar problemas dessa natureza.

4.2.8 Risco de poluição das águas do PISF pelo lançamento de esgoto

Utilizaram-se os seguintes critérios para indicar maior risco de poluição: (i) municípios da área de influência direta (AID) com menos de 50% de coleta e tratamento de esgoto urbano e (ii) municípios sem convênio para obras de esgoto, ou com convênios, mas com indícios de irregularidades, ou seja, com algum dos achados listados anteriormente (subtítulos 4.2.3 até 4.2.7). Esclarece-se que, diferentemente dos outros parâmetros de avaliação, o risco de poluição é apontado para os municípios, e não para os convênios propriamente.

Considerando-se que podem existir obras sendo executadas diretamente pelos municípios ou pela companhia de saneamento, sem a existência de convênios federais, confirmou-se também a existência desse tipo de situação junto aos responsáveis. No caso de Pernambuco, foi verificada também a existência de obras sob a responsabilidade da CODEVASF. Quando identificados municípios nessa situação, os mesmos foram excluídos da lista deste achado.

Alertas quanto ao risco de poluição das águas por despejos de esgoto constam no Programa de Apoio ao Saneamento Básico do PISF, cujo responsável pela implementação é o próprio MI, a exemplo do trecho a seguir (MI, 2010):

O empreendedor continuará apoiando os estados e municípios, prioritariamente na Área de Influência Direta do Projeto, junto aos órgãos federais do setor de saneamento básico (Ministérios das Cidades e da Saúde) no sentido de obter prioridade na aplicação de recursos federais, em associação com recursos locais (estados e municípios), na coleta, tratamento e disposição adequada dos esgotos sanitários urbanos.

Acrescentam-se também as já mencionadas análises do IBAMA, quando do licenciamento do empreendimento (IBAMA, 2005, p. 18, 2007, p. 77 e 78), conforme tratado em “3.1 - Área de estudo”. Ademais, em 2005, o risco de poluição por efluentes sanitários foi objeto de apontamento pelo TCU em auditoria operacional no PISF, conforme trecho a seguir (TCU, 2006):

Achado 9 - Não há garantias de que os benefícios do Projeto serão completamente alcançados devido às deficiências na operação e distribuição dos recursos hídricos e na captação do esgoto nos estados a serem beneficiados pelo PISF.

Na oportunidade, o TCU fez a seguinte recomendação ao MI (TCU, 2006):

9.1.11. estude a possibilidade, em articulação com o Ministério das Cidades, de:

9.1.11.1. expandir o programa de compensação ambiental, que versa sobre o saneamento, com vistas a aperfeiçoar a coleta e o tratamento de esgoto de todas as localidades que estejam lançando seus esgotos in natura nos corpos hídricos que servirão de canal natural para as águas transpostas pelo PISF;

Adiciona-se a elevada população residente nos municípios da AID, que, nos seus 86 municípios, tem uma população total de 1.668.334, dos quais mais de um milhão domiciliado em área urbana, de acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2011).

A ANA, no âmbito do Atlas do Abastecimento Urbano (ANA, 2010), conduziu estudo referente a ações e investimentos para coleta e tratamento de esgotos com foco na proteção dos mananciais de abastecimento público. Foram identificadas as sedes urbanas localizadas a montante da captação para

sistemas produtores com qualidade da água potencialmente comprometida em termos de poluição por esgotos domésticos. Para essas sedes, foram propostas ampliações de estações de tratamento de esgotos existentes ou implementação de novas estações. A implantação foi considerada para garantir a obtenção de um índice de cobertura de coleta e tratamento de esgotos de pelo menos 85%. Em levantamento realizado no âmbito da presente pesquisa, constatou-se que 77% dos municípios da AID com menos de 50% da coleta e tratamento de esgoto constam também na relação proposta pela Agência Nacional de Águas, indicando certa aderência entre os resultados.

Ademais, o gerenciamento de um empreendimento como o PISF, que além das obras dos canais em si, envolve um conjunto de ações complementares, com participação de vários outros entes públicos, representa uma série de dificuldades ao órgão coordenador do projeto. Citam-se embaraços na articulação institucional e graves complicações do MI no acompanhamento das diversas obras envolvidas diretamente nos canais da transposição. As paralisações das obras e atrasos no cronograma poderiam ser diminuídas caso a atuação do Ministério fosse mais proativa (TCU, 2012a, 2013a).

Como critérios para este achado destacam-se:

- art. 37 da Constituição Federal;
- Estudo de Impacto Ambiental do PISF (Capítulo 4 - Áreas de estudo);
- Programa de apoio ao saneamento básico - Programa Básico Ambiental n. 32;
- Parecer n. 031/2005 - COLIC/CGLIC/DILIQ/IBAMA (Análise do EIA/RIMA do PISF);
- Parecer n. 15 /2007 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA (Análise Técnica do Plano Básico Ambiental e das condicionantes da Licença Prévia do PISF);
- Acórdão n. 2017/2006-TCU-Plenário (Auditoria Operacional no PISF);
- Acórdão n. 2058/2013-TCU-Plenário (Auditoria de Conformidade do PISF);
- Acórdão n. 402/2011-TCU-Plenário (FOC em convênios do MCIDADES);
- Acórdão n. 198/2013-TCU Plenário (Auditoria Operacional na FUNASA);
- parág. 10 do art. 2º, inc. III, IV e V do art. 7º, inc. II do parág. 4º do art. 21 e art. 22 da Instrução Normativa STN 1/1997;
- inc. VI e VII do art. 43, art. 54 e inc. II do art. 68 da Portaria Interministerial CGU/MF/MP 507/2011;
- itens 12.6, 15.1 e 15.2 do Manual de Instruções para Contratação e Execução dos Programas e Ações do MCIDADES; e
- inc. II do art. 4º, inc. II, III e IV do art. 5º e art. 14 da Portaria FUNASA 902/2013.

Entre as possíveis causas, tem-se a falta de governança. Entre os efeitos/ consequência, destacam-se: diminuição dos benefícios esperados do projeto e poluição de recursos hídricos em função da ausência de esgotamento sanitário.

Os critérios e análises propostos servem de indicativo do risco de poluição das águas do PISF por despejos não tratados. Para quantificação mais precisa, existem diversas outras variáveis envolvidas, entre as quais: população dos municípios, pois quanto maior a população, geram-se mais efluentes e, conseqüentemente, maior a carga poluidora; distâncias entre os centros urbanos e os mananciais; volumes dos reservatórios e vazões dos cursos d'água atingidos.

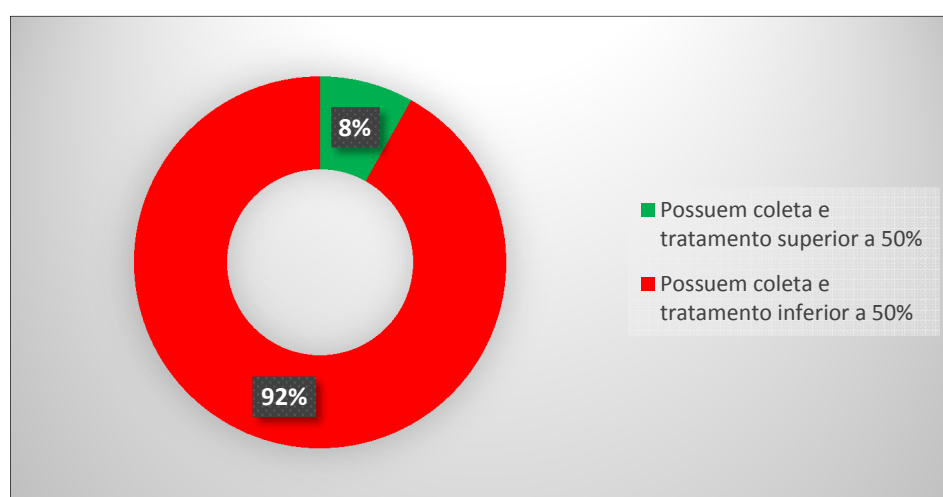
Estimativas mais rigorosas devem ser realizadas com apoio de modelos matemáticos e de dados mais detalhados das condições locais (BARROS; SOBRAL; GUNKEL, 2013; BENEDINI, 2011; FAN; COLLISCHONN; RIGO, 2013; IBAMA, 2005, 2007). Além disso, os resultados extraídos dos modelos matemáticos devem ser devidamente validados e monitorados ao longo dos anos para fins de confirmação e ajustes requeridos. Ressalta-se que o critério de 50 km foi utilizado no âmbito do EIA/RIMA para definição da AID e não foi objeto de análise crítica neste estudo quanto a adequabilidade dessa faixa estabelecida.

Aplicação experimental

O risco de poluição das águas do PISF foi identificado em 66 municípios (77%) de um total de 86 da AID. A população desses 66 municípios é de 1.183.202 (71% do total da população da AID), sendo a população urbana sem coleta e tratamento de esgoto de 698.377.

Dos 86 municípios da AID, sete (8%) têm coleta e tratamento de esgoto superior a 50%, enquanto 79 (92%) têm menos de 50%, conforme Figura 65.

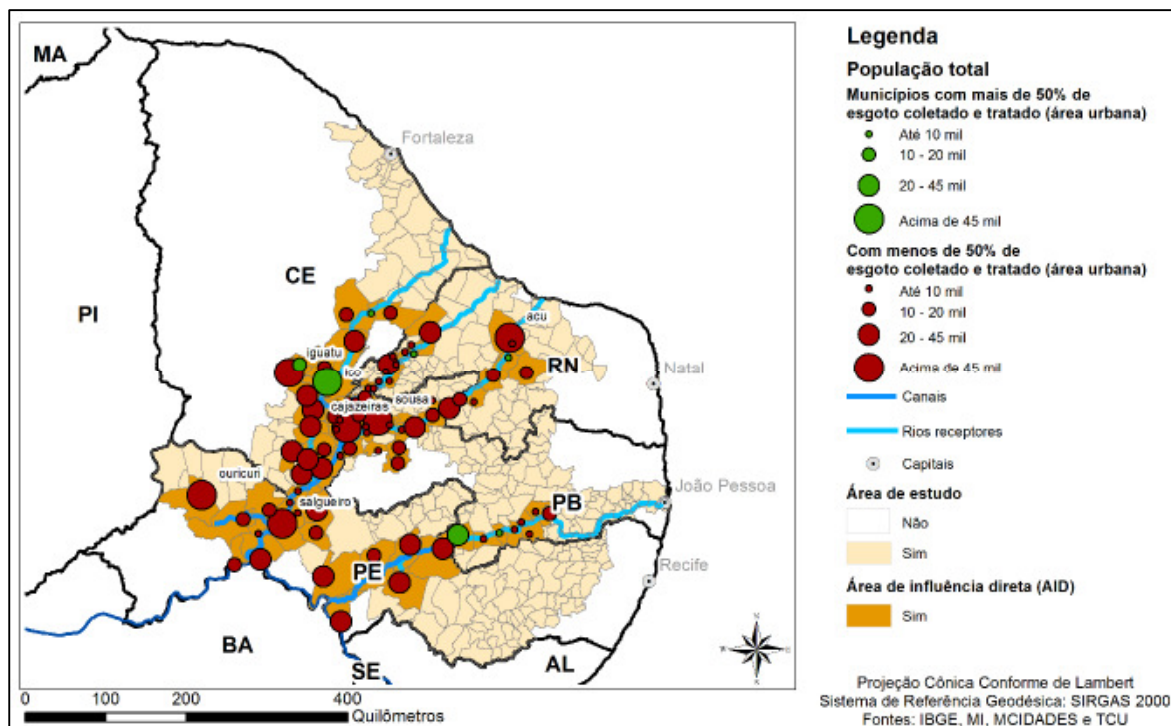
Figura 65 - Situação da coleta e tratamento de esgoto nos municípios da AID



Fonte: Elaborado pelo autor.

A localização das sedes municipais na AID consta do mapa da Figura 66, discriminando quanto à situação da coleta e tratamento de esgoto e quanto à população total desses municípios. Os municípios da AID, por definição, estão próximos aos canais, rios e reservatórios receptores.

Figura 66 - Mapa da população sem coleta e tratamento de esgoto nos municípios da AID



Fonte: Elaborado pelo autor.

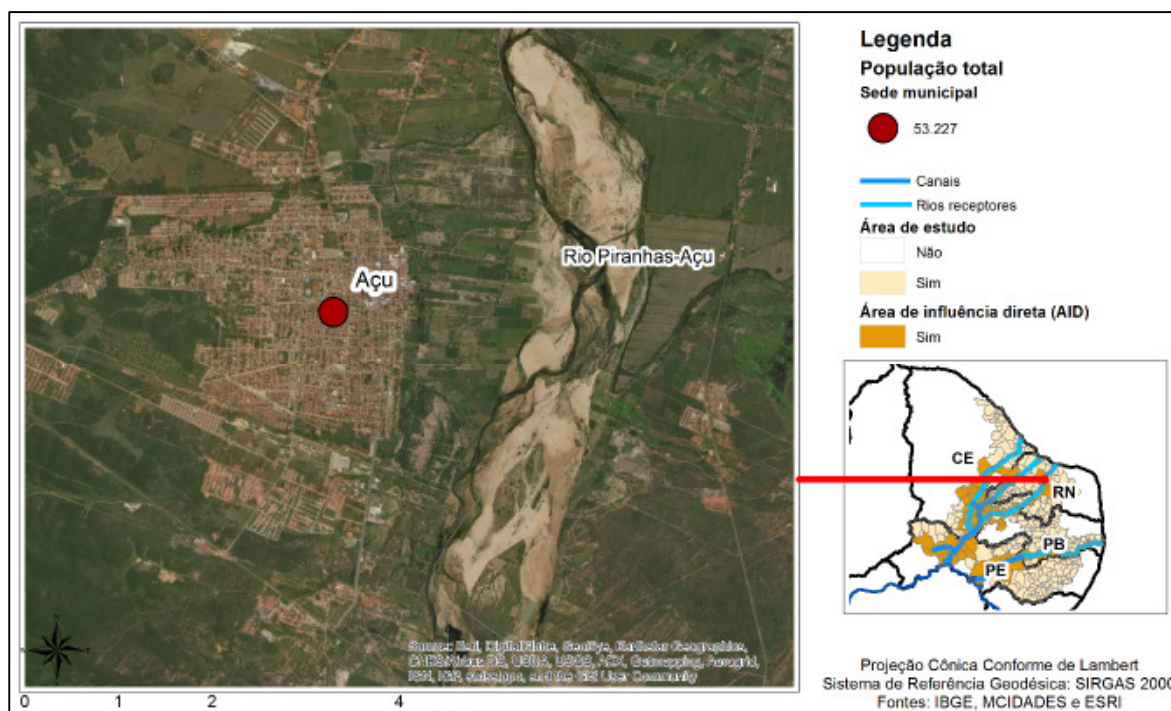
Além da maioria dos municípios encontrar-se em situação precária quanto ao esgotamento sanitário, seis deles tem mais de 50 mil habitantes e menos de 50% do esgoto da população urbana coletado e tratado: Salgueiro e Ouricuri-PE, Cajazeiras e Souza-PB, Açu-RN e Iguatu-CE. O município de Icó-CE, em que pese ter mais de 50 mil habitantes, tem 56% do esgoto da população urbana coletado e tratado (MCIDADES, 2014a).

Com relação aos municípios mencionados no parágrafo anterior, apontam-se algumas situações específicas (distâncias aproximadas em relação às sedes municipais): Salgueiro-PE está a 5 km de distância do canal do eixo Norte; Ouricuri-PE está 3 km de um afluente (riacho do C. Grosso) do açude Entremontes; Souza-PB fica a 4,5 km do rio Piranhas-Açu; Cajazeiras-PB fica a 10 km do canal do eixo Norte e 15 km do reservatório do açude Engenheiro Ávidos; Açu-RN fica a 2 km do rio Piranhas-Açu; e Iguatu-CE fica 3 km de um riacho afluente do açude de Orós.

Como exemplo, a proximidade da área urbana de Açu-RN com o rio Piranhas-Açu está evidenciada na Figura 67. Além dos despejos de esgoto bruto, existem diversos outros riscos associados a uma gestão ambiental temerária, a exemplo de drenagem urbana e resíduos sólidos. Quanto aos resíduos sólidos, acrescenta-se que a região Nordeste é a macrorregião com menor cobertura no que diz

respeito à proporção da população atendida por serviços considerados tecnicamente adequados de afastamento dos resíduos sólidos domésticos (MORAES *et al.*, 2014, p. 194 e 195).

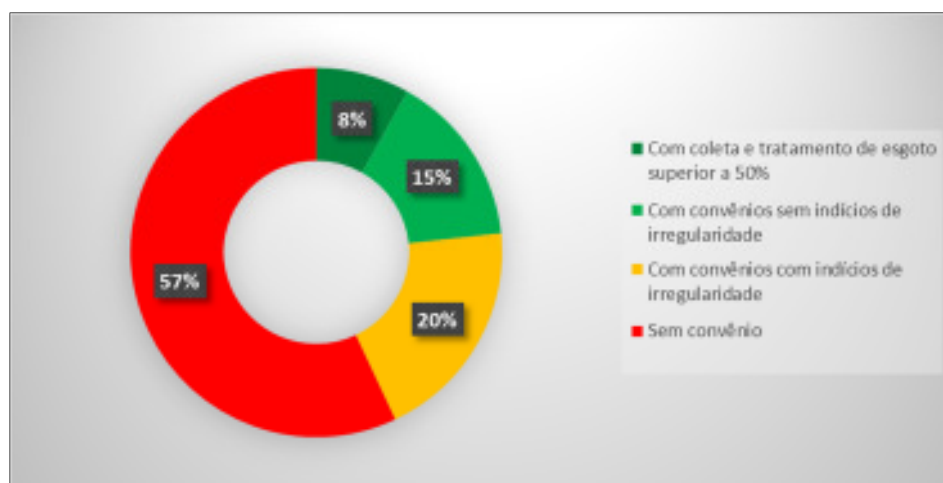
Figura 67 – Carta imagem de Açu-RN e do rio Piranhas-Açu (em 6/5/2015)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos 86 municípios da AID, 79 (92%) apresentaram menos de 50% de esgotamento sanitário, sendo 66 (77%) com maior risco de poluição dos recursos hídricos: em 49 (57%) não foram identificadas obras de esgoto; e em 17 (20%) foram identificados convênios, mas como indícios da ocorrência de problemas, pondo em risco a efetividade dos mesmos. A maior parte desses municípios (57%) tinha menos de 50% de coleta e tratamento e não tinha obras para melhorias do SES (Figura 68).

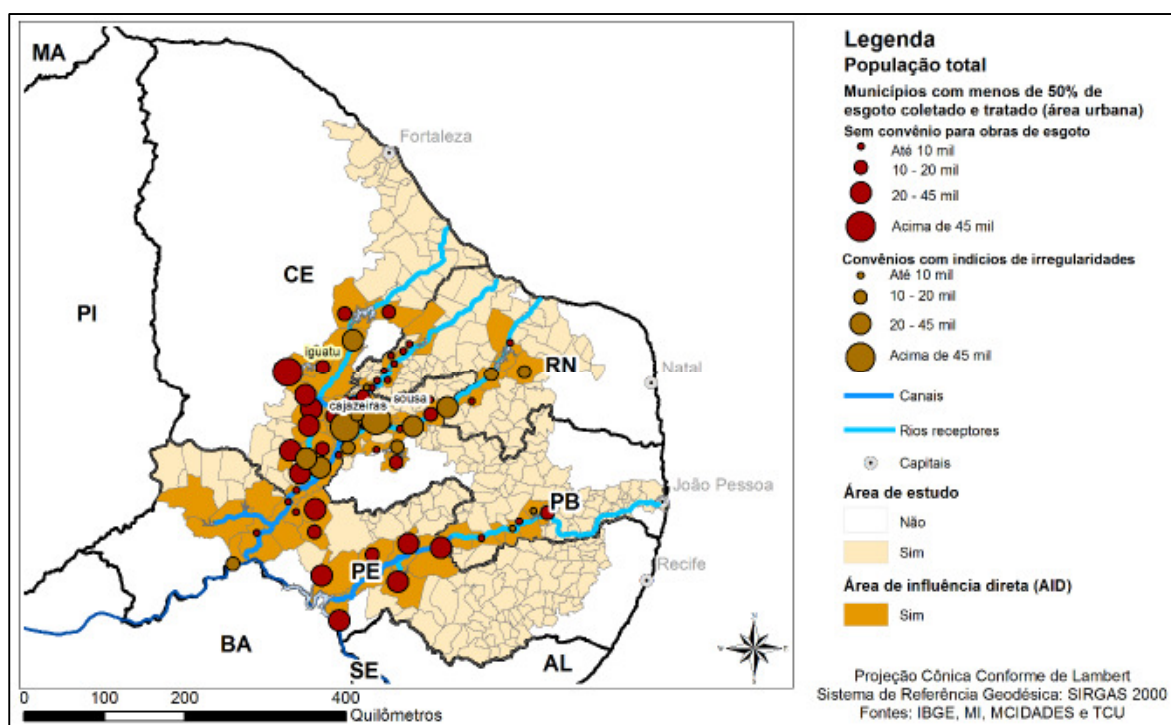
Figura 68 - Detalhamento da situação dos municípios da AID quanto ao risco de poluição das águas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A localização das sedes municipais da AID com maior risco de poluição das águas e consequentes danos ambientais consta na Figura 69, com destaque para os com mais de 50 mil habitantes. Iguatu-CE não tinha convênio para obras de esgoto, enquanto que Cajazeiras e Sousa-PB dispunham de convênios, mas os mesmos estavam com problemas na execução⁵³. As sedes municipais de Ouricuri e Salgueiro-PE não constam em destaque no mapa porque, apesar de não terem sido identificados convênios federais, em contato com a CODEVASF e com o Governo de Pernambuco, foi relatada a existência de obras de esgotamento sanitário nesses municípios.

Figura 69 - Mapa dos municípios com maior risco de poluição das águas por despejos de esgoto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Citam-se dois exemplos concretos dessa situação de risco:

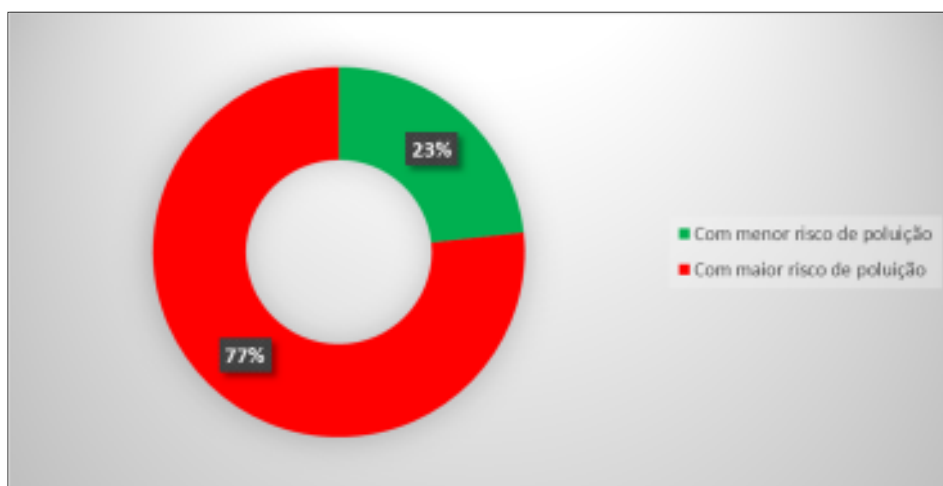
- Cajazeiras-PB: tem população de 58 mil habitantes, sendo 81% urbana (IBGE, 2011). Nesse município há 17% de coleta de esgoto, sendo todo ele tratado, conforme consta no SNIS (MCIDADES, 2014a). O município faz parte da bacia de contribuição do rio Piranhas-Açu, que receberá as águas do PISF. Em que pese a identificação de dois convênios para ampliação do SES, ambos estão paralisados e com vigências vencidas; e
- Iguatu-CE: tem população de 96 mil habitantes, sendo 77% na área urbana, com 19% de coleta de esgoto, sendo todo ele tratado (IBGE, 2011; MCIDADES, 2014a). O município

⁵³ No caso de Cajazeiras/PB, constataram-se obras paralisadas e convênios expirados. Em Sousa/PB identificaram-se convênios expirados e licença ambiental vencida.

integra a bacia de contribuição do rio Jaguaribe, que receberá as águas do PISF, a montante do reservatório de Orós. Não foi identificado convênio para ampliação do SES.

De forma mais simplificada quanto ao risco de poluição, dos 86 municípios da AID, 66 (77%) apresentaram problemas com relação à coleta e tratamento de esgoto e à ausência de obras para sanear a situação (ausência de convênios ou convênios com irregularidades), conforme Figura 70.

Figura 70 - Situação dos municípios da AID com relação ao risco de poluição das águas



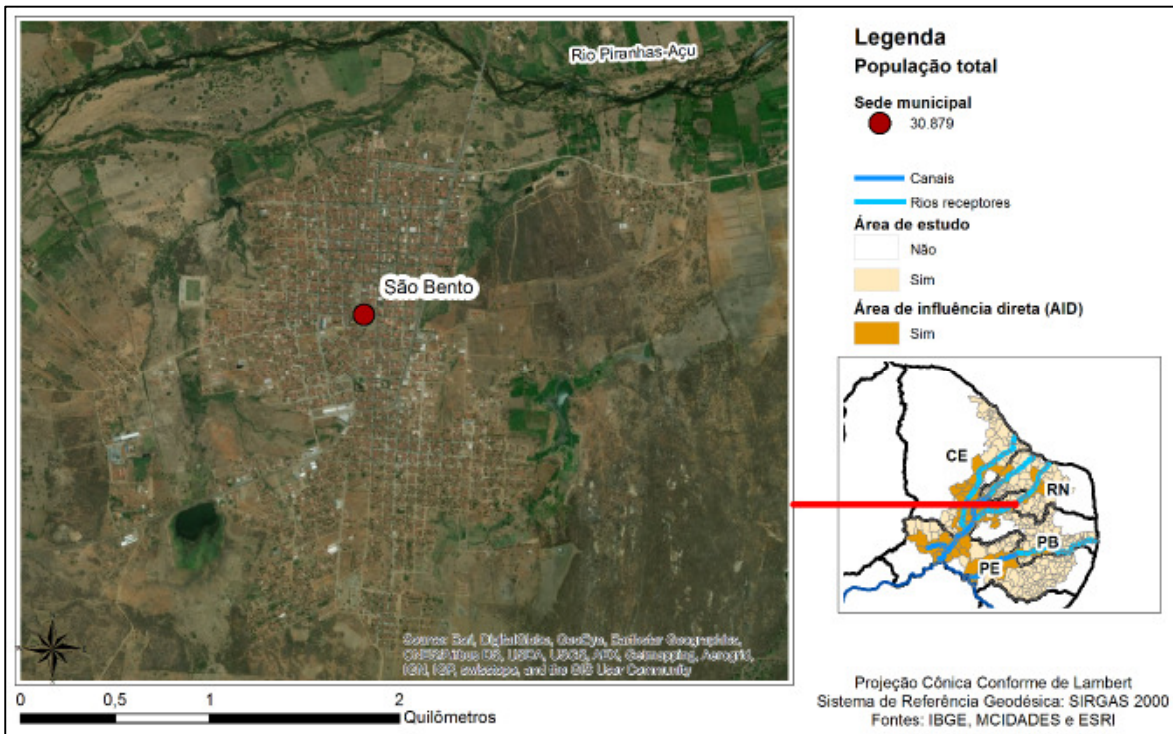
Fonte: Elaborado pelo autor.

Mesmo sem o tratamento e destinação adequado do esgoto, quanto mais distantes dos corpos d'água são as sedes municipais, menor o risco de poluição dos rios. Despejos difusos e aqueles que tenham que percorrer longas distâncias são menos problemáticos, pois atingirão os rios com menor carga poluidora, em decorrência do menor volume e da remoção natural, física, química ou biológica, dos poluentes e microrganismos ao longo do trajeto, favorecendo o processo de autodepuração no rio.

Quanto às sedes municipais da AID mais próximas dos rios receptores, dentre os 66 municípios com maior risco de poluição, apenas a sede de Camalau-PB está localizada a menos de 1 km de distância de rios receptores. A população desse município é relativamente pequena, com 5.749 habitantes, sendo 8% da população urbana com coleta e tratamento de esgoto.

Considerando a distância de 2 km da sede até os rios receptores, identificam-se 10 municípios, com população total de 152.229. Cinco desses, com população total de 74.208, estão às margens do rio Piranhas-Açu. A proximidade de São Bento-PB com o rio Piranhas-Açu pode ser visualizada na Figura 71. Esse município tem 30.879 habitantes, sendo 78% da população urbana com coleta de esgoto, mas apenas 20% do volume coletado é tratado.

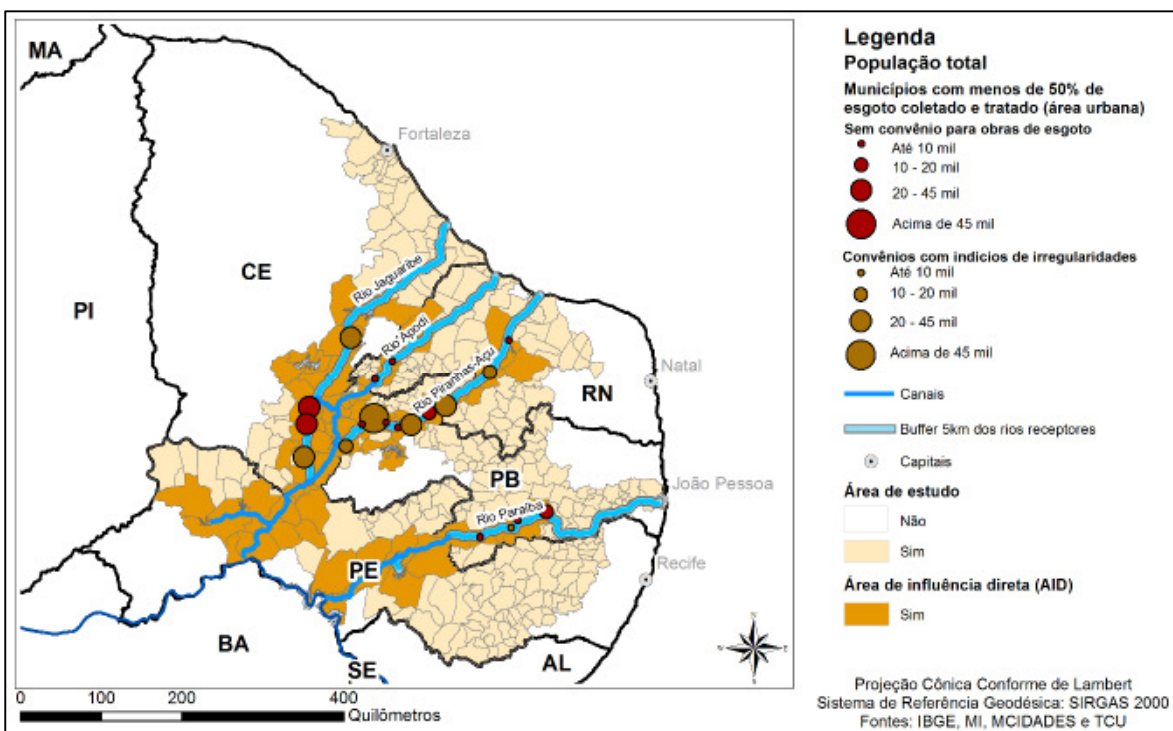
Figura 71 - Carta imagem de São Bento-PB e do rio Piranhas-Açu (em 11/4/2012)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a distância de 5 km da sede até os rios receptores, identificam-se 20 municípios, com população de 357.083 habitantes (Figura 72). Verifica-se que 10 municípios, que somam 201.004 habitantes, estão às margens do rio Piranhas-Açu.

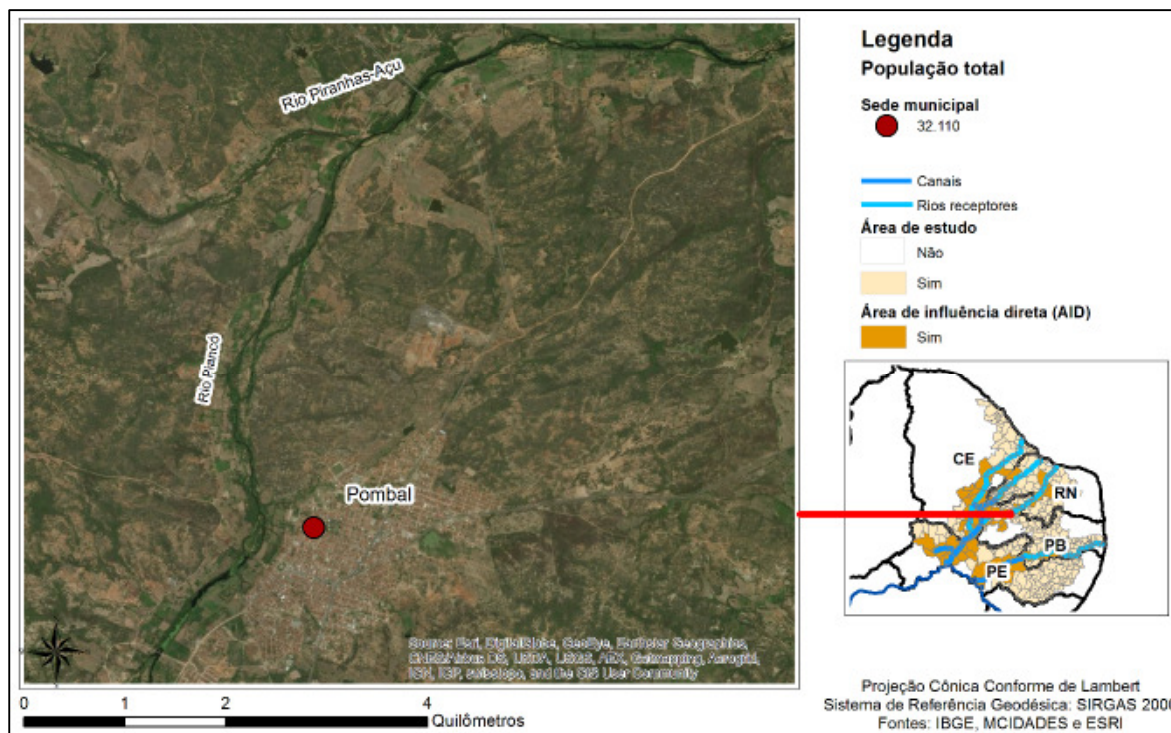
Figura 72 - Sedes municipais com distância inferior a 5 km dos rios receptores na AID



Fonte: Elaborado pelo autor.

O município de Pombal-PB fica logo às margens do rio Piancó, afluente do rio Piranhas-Açu (Figura 73). Esse município tem população de 32.110 habitantes, sendo que 67% da população urbana tem coleta de esgoto, mas não há tratamento do efluente coletado.

Figura 73 - Carta imagem de Pombal-PB e dos rios Piancó e Piranhas-Açu (em 11/4/2012)

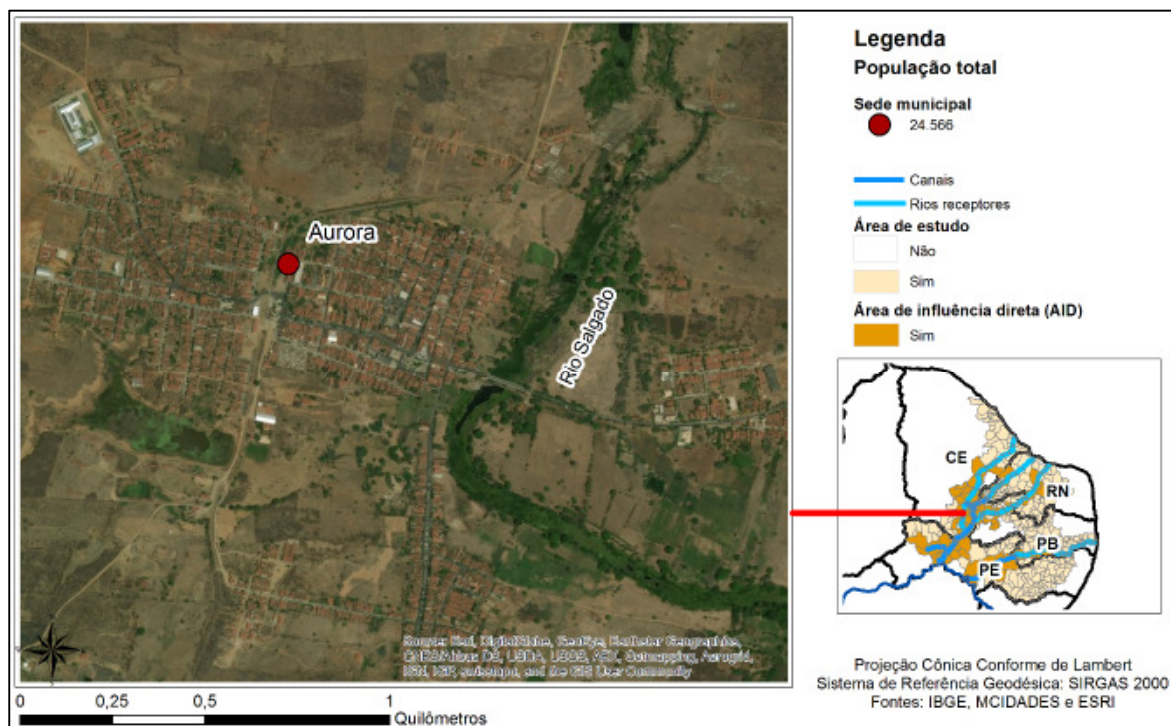


Fonte: Elaborado pelo autor.

A visão geral dos riscos representa uma oportunidade para que os gestores responsáveis adotem medidas saneadoras de forma seletiva, priorizando os recursos disponíveis. Mais uma vez, destaca-se o potencial para atuação em conjunto com a sociedade, incentivando o controle social e obtendo informações voluntárias adicionais. A existência e divulgação de um SIG colaborativo pode incentivar o encaminhamento de informações relevantes, por parte de moradores locais, comitês de bacias, organizações não-governamentais envolvidas com a preservação do meio ambiente etc. (DELIPETREV; JONOSKI; SOLOMATINE, 2014; DUBA; DI MAIO, 2014; HORITA *et al.*, 2015; MEDEIROS *et al.*, 2013).

A proximidade de Aurora-CE com o rio Salgado, que receberá as águas do PISF e é afluente do rio Jaguaribe, é ilustrada na Figura 74. Esse município tem população de 24.566 habitantes. Apenas 16% da população urbana tem coleta de esgoto, sendo 100% tratado. Não foi identificada obra para ampliar a infraestrutura relacionada ao esgotamento sanitário do município.

Figura 74 Carta imagem de Aurora-CE e do rio Piranhas-Açu (em 16/11/2012)



Fonte: Elaborado pelo autor.

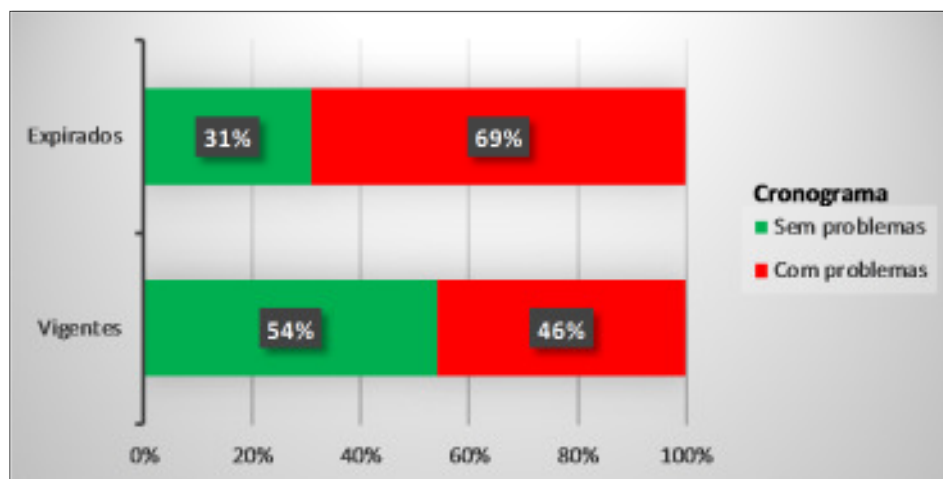
Identificou-se elevado número de municípios da AID que podem poluir as águas do PISF em função da ausência de coleta e tratamento de esgotamento sanitário. Abordagens estruturadas e sistêmicas como a apresentada permitem uma visão do problema como um todo, possibilitando atacar causas e prever consequências de ações inadequadas ou omissão na implantação de SES.

4.2.9 Associação entre variáveis

Os convênios foram classificados, qualitativamente (“sim” ou “não”), quanto à ocorrência de cada um dos cinco achados referentes aos convênios. O achado referente ao risco de poluição não foi considerado, pois tem natureza distinta do restante. Adotou-se como variável dependente a ocorrência do achado referente ao cronograma, sendo as restantes tratadas como independentes. Essa variável foi adotada como dependente pois, teoricamente, identifica-se relação de causalidade entre a sua ocorrência e a das outras, conforme se discute nos parágrafos seguintes.

Quanto à associação entre a situação dos cronogramas e a vigência dos convênios, espera-se que, com o término da vigência sem a conclusão dos respectivos objetos, ocorra problemas na execução da obra, em face, principalmente, da proibição quanto à continuidade de repasse de recursos. A relação entre essas é apresentada no gráfico da Figura 75. Nos casos em que os convênios estavam com vigência expirada, observou-se 69% de ocorrência de problemas nos cronogramas, sendo 46% no caso dos convênios vigentes. O percentual geral de problemas no cronograma, independente da vigência, foi de 55%, conforme tratado no subtítulo “4.2.3 - Cronograma de execução das obras”.

Figura 75 - Situação dos cronogramas em relação à vigência dos convênios



Fonte: Elaborado pelo autor.

As frequências absolutas observadas e esperadas, do cruzamento entre vigência dos convênios e cronograma das obras, estão nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 - Valores observados quanto aos cronogramas em relação às vigências dos convênios

Vigência dos convênios	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Expirados	17	38	55
Vigentes	47	40	87
Total	64	78	142

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 9 - Valores esperados quanto aos cronogramas em relação às vigências dos convênios

Vigência dos convênios	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Expirados	24,8	30,2	55,0
Vigentes	39,2	47,8	87,0
Total	64,0	78,0	142,0

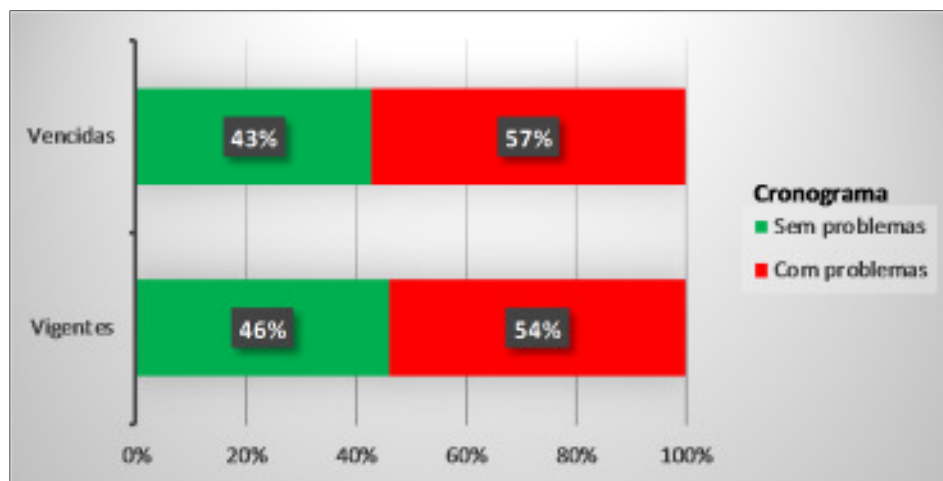
Fonte: Elaborado pelo autor.

A existência de associação entre essas variáveis apresentou elevada significância estatística, com *p-value* do Teste Qui-Quadrado de 0,01, indicando baixa chance de erro ao rejeitar a hipótese nula (independência entre as variáveis). Portanto, evidencia-se, estatisticamente, a existência de associação entre as variáveis.

Quanto ao licenciamento ambiental, entende-se que problemas quanto à não prorrogação ou renovação da licença podem ocasionar atrasos ou até paralisação nas obras em decorrência de eventuais embargos por parte do órgão licenciador. Nos casos em que as licenças estavam vencidas,

observou-se 57% de ocorrência de problemas nos cronogramas, sendo 54% no caso das licenças vigentes (Figura 76). Há, portanto, apenas uma pequena divergência frente aos 55% de média geral de problemas no cronograma.

Figura 76 - Situação dos cronogramas em relação ao licenciamento ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor.

As frequências absolutas observadas e esperadas, do cruzamento entre licenciamento ambiental e cronograma, constam nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Tabela 10 - Valores observados dos cronogramas em relação às vigências das licenças ambientais

Vigência das licenças ambientais de instalação	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Vencidas	18	24	42
Vigentes	46	54	100
Total	64	78	142

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 - Valores esperados dos cronogramas em relação às vigências das licenças ambientais

Vigência das licenças ambientais de instalação	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Vencidas	18,9	23,1	42,0
Vigentes	45,1	54,9	100,0
Total	64,0	78,0	142,0

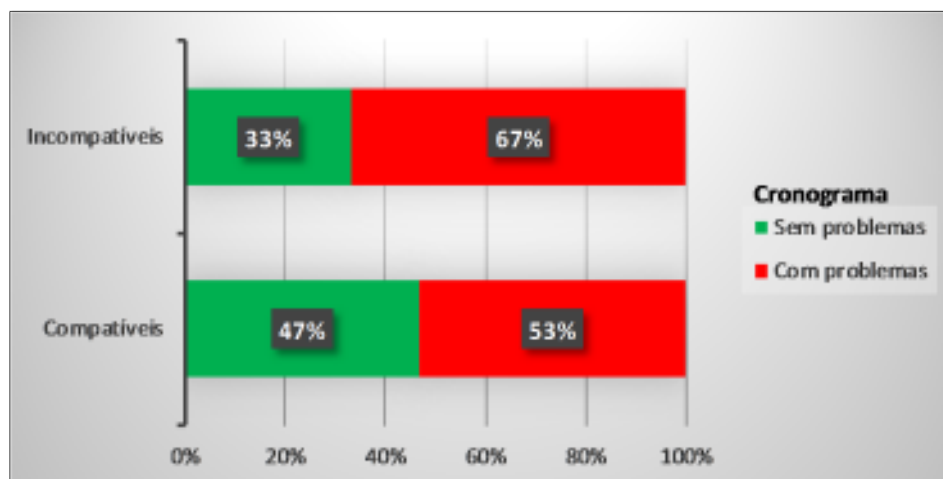
Fonte: Elaborado pelo autor.

A existência de associação entre essas variáveis apresentou baixa significância estatística, tendo *p-score* de 0,73, não permitindo rejeitar a hipótese nula. Em consulta às Tabelas 10 e 11 percebe-se que os desvios nas frequências observadas e esperadas foram pequenos e, analisando com mais atenção a situação de cada convênio, observam-se frequentes situações em que, mesmo com licenciamento

ambiental vencido, não foram identificados indícios de que a obra estivesse com problemas no cronograma e vice-versa.

Quanto à capacidade das construtoras, teoricamente, espera-se forte relação com o cronograma, em especial quando identificada incompatibilidade nas empresas. Nos casos em que as contratadas tinham capacidade incompatível, observou-se 67% de ocorrência de problemas nos cronogramas, sendo 53% nos casos em que não se identificou incompatibilidade (Figura 77).

Figura 77 - Situação dos cronogramas em relação à capacidade operacional das construtoras



Fonte: Elaborado pelo autor.

As frequências absolutas observadas e esperadas, do cruzamento entre a capacidade operacional das construtoras e o cronograma das obras, estão nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Tabela 12 - Valores observados quanto aos cronogramas em relação às construtoras

Capacidade operacional das construtoras	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Incompatíveis	6	12	18
Compatíveis	58	66	124
Total	64	78	142

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Valores esperados quanto aos cronogramas em relação às construtoras

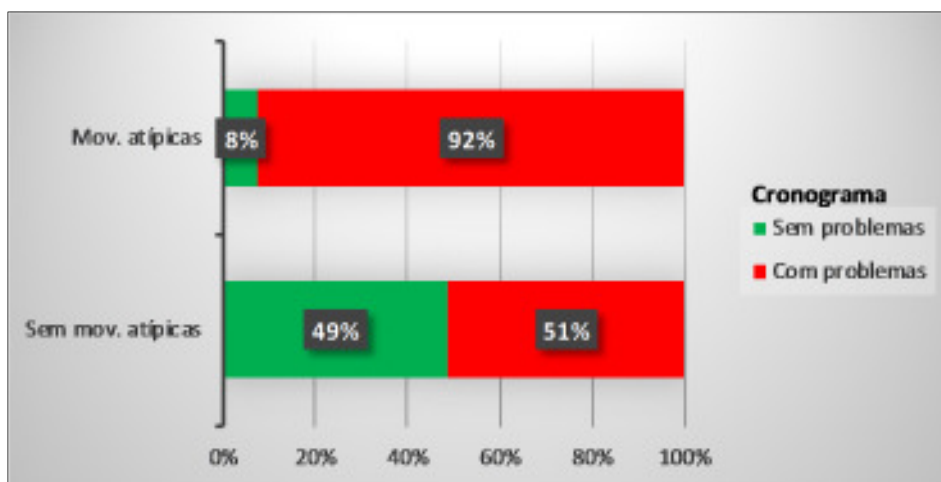
Capacidade operacional das construtoras	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Incompatíveis	8,1	9,9	18,0
Compatíveis	55,9	68,1	124,0
Total	64,0	78,0	142,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em que pese a relevante diferença nos casos das empresas incompatíveis, a existência de associação entre essas variáveis não restou evidenciada estatisticamente, pois apresentou *p-score* de 0,28. Conforme ressaltado no subtítulo “4.2.6 - *Capacidade operacional das empresas contratadas para execução das obras*”, a ocorrência desse achado pode ser também decorrente da não declaração por parte da empresa dos seus funcionários na RAIS ou subcontratação dos serviços, o que não representariam, por si sós, riscos quanto ao cronograma. Acrescentam-se as limitações encontradas pelo fato de que algumas empresas não foram identificadas para análise. De qualquer forma, a não identificação da associação entre essas variáveis sinaliza para a necessidade de melhorias no modelo, buscando identificar com mais clareza as situações em que as empresas são incompatíveis.

Quanto à movimentação financeira das contas, entende-se que a utilização de recursos financeiros para fins diversos do objeto conveniado representa risco de problemas futuros para conclusão da obra, pela falta de recursos financeiros. Em 92% dos convênios com movimentações atípicas houve problemas nos cronogramas (Figura 78).

Figura 78 - Situação dos cronogramas em relação às movimentações financeiras



Fonte: Elaborado pelo autor.

As frequências observadas e esperadas, da situação dos cronogramas das obras em relação às movimentações financeiras nas contas correntes, constam das Tabelas 14 e 15, respectivamente.

Tabela 14 - Valores observados quanto aos cronogramas em relação às movimentações financeiras

Movimentação financeira	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Com movimentações atípicas	1	12	13
Sem movimentações atípicas	63	66	129
Total	64	78	142

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Valores esperados quanto aos cronogramas em relação às movimentações financeiras

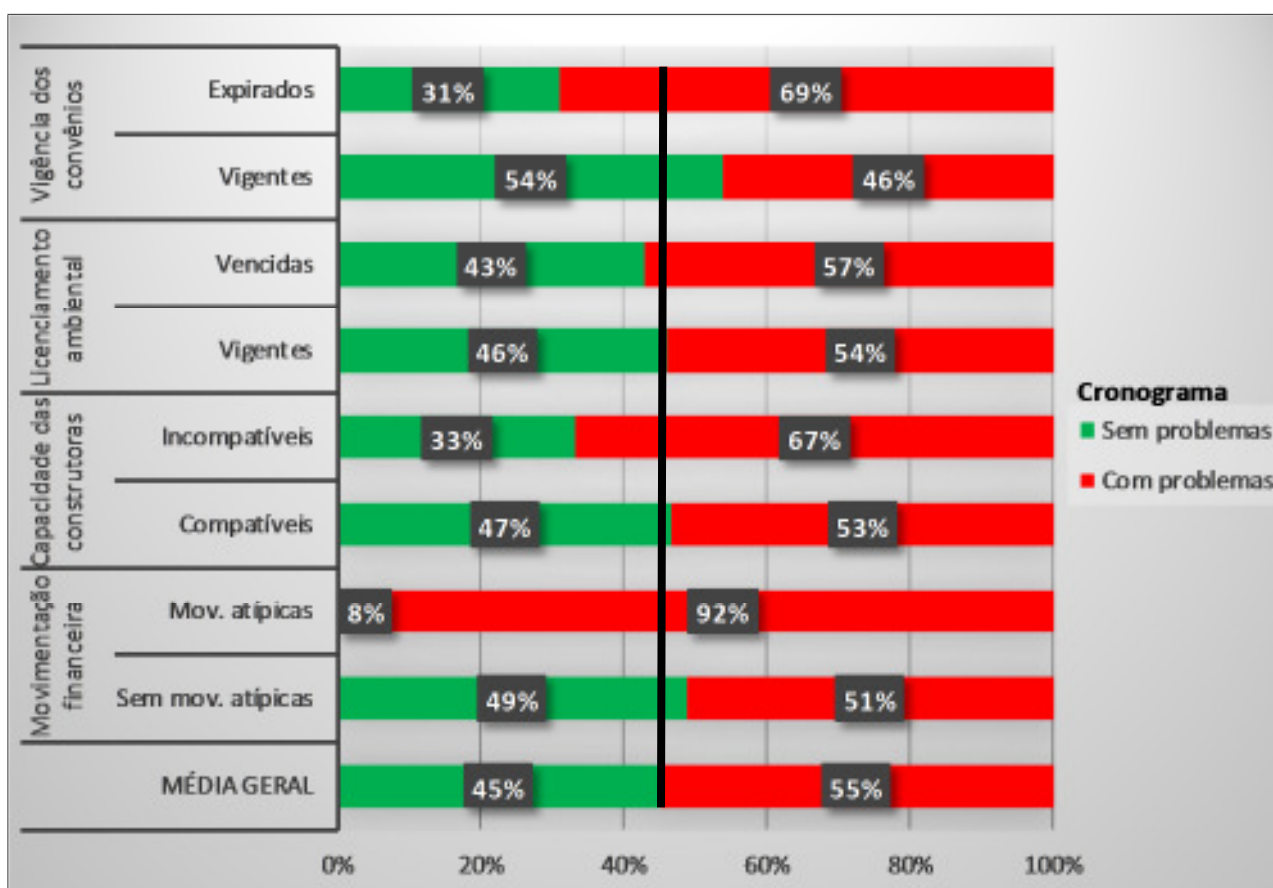
Movimentação financeira	Cronograma de execução		Total
	Sem problemas	Com problemas	
Com movimentações atípicas	5,9	7,1	13,0
Sem movimentações atípicas	58,1	70,9	129,0
Total	64,0	78,0	142,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A existência de associação entre as variáveis apresentou elevada significância estatística, com *p-score* de 0,00, indicando baixa chance de erro ao rejeitar a hipótese nula. Portanto, confirma-se a existência de associação entre as variáveis.

Por fim, todos os percentuais mencionados constam do gráfico da Figura 79, incluindo o percentual geral observado para obras com problemas no cronograma de execução (55% - linha vertical preta).

Figura 79 - Situação dos cronogramas em relação aos outros parâmetros avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi evidenciado estatisticamente a associação entre problemas no cronograma e convênios expirados e movimentações atípicas nas contas correntes. Para licenciamento ambiental e capacidade das construtoras não foi possível rejeitar a hipótese nula.

4.3 Inspeções *in loco* e manifestação dos gestores públicos

As inspeções e as manifestações dos gestores foram utilizadas como subsídio adicional para validar o modelo desenvolvido. Nos subtítulos seguintes detalham-se as principais resultados obtidos.

4.3.1 *Inspeções in loco*

Com relação à Pernambuco, foi realizada inspeção em obra no município de Parnamirim-PE (Convênio SIAFI 620729), constatando-se que:

- a obra encontrava-se em fase final de execução, estando a construtora com doze funcionários alocados para execução do empreendimento. Essas informações mostraram-se aderentes aos resultados obtidos com o CDOP. Além disso, a equipe de auditoria apontou que não foram detectados sinais de deterioração nos serviços executados e que houve significativos atrasos no cronograma, pois deveria ter sido finalizada em 2010; e
- com relação aos recursos orçamentários para conclusão das obras, apontou-se que houve alteração no valor inicialmente previsto para o empreendimento em decorrência do incremento de serviços não previstos inicialmente e alteração do traçado da rede de esgoto. Mesmo com as alterações, a equipe apontou a proximidade de conclusão da obra, o que fará com que praticamente toda a população urbana de Parnamirim tenha acesso aos serviços de esgotamento sanitário.

Na Paraíba, realizaram-se inspeções nos municípios de Cajazeiras (Convênios SIAFI 604685 e 670677), Pombal (SIAFI 657651 e 668805), Mogeiro (SIAFI 668765), Bonito de Santa Fé (SIAFI 650064), Monteiro (SIAFI 648683) e Vista Serrana (SIAFI 628197), constatando-se que:

- com relação à execução, cinco das obras visitadas estavam paralisadas com as construtoras desmobilizadas (SIAFI 604685, 670677, 657651, 668765 e 650064). As demais estavam em execução (SIAFI 668805, 648683 e 628197), no entanto, sem frentes de serviço no momento das inspeções, ou com pequeno número de funcionários trabalhando. Essas informações mostram-se aderentes aos resultados obtidos com as consultas e cruzamentos. Além disso, a equipe de auditoria apontou sinais de deterioração em serviços executados, antes mesmo da entrada em operação, e atrasos no cronograma de execução. No tocante às perspectivas para conclusão das obras, apontou-se incerteza quanto à definição de prazo para conclusão, ainda que algumas delas se encontrassem em avançado estágio de execução (SIAFI 648683, 657651 e 668805); e
- com relação aos recursos orçamentários para conclusão das obras, constatou-se que as obras em Pombal sofreram alteração de valor (SIAFI 657651 e 668805). Nos demais convênios, as obras não estavam sendo executadas em conformidade com o projeto.

Em Cajazeiras-PB, Convênio SIAFI 670677, foi verificado que o canteiro de obras estava abandonado e a obra paralisada, tendo sido apenas iniciada a implantação da rede coletora. O canteiro foi instalado em construção já existente, que se encontrava abandonada (Figura 80).

Figura 80 - Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Cajazeiras-PB



Jorge Fonseca, 2014

Em Pombal-PB, Convênio SIAFI 657651, constatou-se que a ETE estava sem utilização, estando a obra paralisada, em fase final. As estações elevatórias ainda não estavam conectadas à rede elétrica, impedindo que o esgoto coletado fosse bombeado para a ETE (Figura 81).

Figura 81 - Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Pombal-PB



Jorge Fonseca, 2014

Em Bonito de Santa Fé-PB, Convênio SIAFI 650064, foi verificado que a obra estava paralisada, sem uso e com sinais de deterioração (Figura 82).

Figura 82 - Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Bonito de Santa Fé-PB



Germano Rocha, 2014

Em Mogeiro-PB, Convênio SIAFI 668765, a obra estava paralisada há mais de um ano, com valas ainda abertas no terreno (Figura 83). Foram efetuadas várias adaptações no projeto e houve problemas com desapropriação.

Figura 83 - Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Mogeiro-PB



Germano Rocha, 2014

Ainda com relação à Mogeiro-PB, verificou-se esgoto correndo a céu aberto, em decorrência da não conclusão da obra (Figura 84).

Figura 84 - Foto ilustrando esgoto a céu aberto em Mogeiro-PB



Germano Rocha, 2014

No Rio Grande Norte, foram realizadas inspeções nos municípios de Jucurutu-RN (SIAFI 668724) e Santana do Matos-RN (SIAFI 668723), onde se constatou que:

- a obra de Jucurutu (SIAFI 668724) estava paralisada desde maio/2013, tendo ocorrido distrato do contrato em 21/1/2014. Nova licitação foi realizada, mas foi deserta. A obra de Santana do Mato (SIAFI 668723) estava em execução, com ritmo lento, com apenas quatro funcionários alocados. Essas informações mostraram-se aderentes aos resultados do CDOP. A equipe de auditoria apontou, para ambas as obras, atrasos no cronograma. Para a última, observou sinais de deterioração em serviços executados, antes mesmo da entrada em operação do SES; e
- com relação aos recursos orçamentários para conclusão das obras, apontou-se que um dos convênios (SIAFI 668723) teve seu valor inicialmente previsto alterado, mas com perspectivas de conclusão da obra. Para o outro convênio (SIAFI 668724), não se vislumbrou a conclusão no curto prazo, visto que os recursos foram considerados como insuficientes para conclusão dos serviços remanescentes.

Em Jucurutu-RN, Convênio SIAFI 668734, constatou-se que a obra estava paralisada há mais de um ano (Figura 85).

Figura 85 - Foto referente às obras de esgotamento sanitário em Jurucutu-RN



Germano Rocha, 2014

No Ceará, foram realizadas inspeções nos municípios de Jaguaribe-CE (SIAFI 657646 e 668744) e Icó-CE (SIAFI 646291), constando-se que:

- em Jaguaribe (SIAFI 657646 e 668744), as obras estavam parcialmente executadas, mas não foi identificada nenhuma frente de serviço nos empreendimentos. No caso de Icó (SIAFI 646291), a obra estava paralisada, com os serviços executados de forma parcial, tanto os referentes à rede coletora, como estação elevatória e ETE, não tendo sido iniciadas as ligações domiciliares. Essas informações mostraram-se aderentes aos resultados obtidos com a aplicação experimental do CDOP. Além disso, a equipe de auditoria informou que, em relação à obra de Icó-CE, os sucessivos aditivos ao contrato demonstravam a falta de gestão da prefeitura na condução do empreendimento, sem que houvesse perspectivas efetivas para conclusão da obra; e
- com relação aos recursos orçamentários para conclusão das obras, foi apontado, para a obra de Icó-CE, que não havia recursos orçamentários suficientes, uma vez que houve alteração no valor inicialmente previsto para o empreendimento.

Em Icó-CE, o Convênio SIAFI 646291 objetiva a ampliação do SES do município. Constatou-se que a obra estava paralisada e sem recursos para sua conclusão. O convênio foi firmado em 31/12/2008, com prazo inicial de vigência até 30/6/2010 (um ano e meio). A data de início da execução da obra foi em 22/6/2011 (Figura 86). A inspeção foi realizada em dezembro de 2014.

Figura 86 - Foto da placa da obra de esgotamento sanitário em Icó-CE



Germano Rocha, 2014

Ainda com relação ao Convênio SIAFI 646291, em Icó-CE, constatou-se que as obras de construção da estação elevatória e ampliação da estação de tratamento de esgoto estavam inconclusas (Figuras 87 e 88).

Figura 87 - Foto referente às obras da estação elevatória em Icó-CE



Germano Rocha, 2014

Figura 88 - Foto referente às obras da ETE em Icó-CE



Germano Rocha, 2014

As inspeções serviram para validar os procedimentos e critérios adotados e trouxeram informações adicionais sobre as obras. Como regra, os projetos preveem a operacionalização do SES como um todo, contemplando desde ligação domiciliar até tratamento e destino final dos efluentes. No entanto, com frequência, observaram-se obras paralisadas, com etapas concluídas, mas sem uso e com sinais de deterioração antes do início da operação. Constataram-se significativos atrasos nos cronogramas, com casos em que a obra deveria durar um ano, estando com quatro e sem indicativos claros de quando seria concluída. Além disso, houve situações em que as alterações nos projetos resultaram em diminuição do escopo e/ou risco de não conclusão por falta de recursos orçamentário.

As inspeções foram importantes para trazer maior confiabilidade aos resultados. Além disso, foi uma oportunidade para verificar diretamente alguns dos problemas nas obras e ouvir, dos responsáveis diretos pela execução, quais tipos de dificuldades estavam sendo encontradas.

4.3.2 Manifestação dos gestores públicos

Uma versão preliminar do relatório de auditoria foi remetida ao Ministério da Integração, ao Ministério das Cidades e à Fundação Nacional de Saúde, no âmbito da Auditoria FOC-PISF, com a finalidade de se obter comentários sobre as questões analisadas. No relatório encaminhado, além de descritos os achados de auditoria, foi proposto o seguinte encaminhamento:

- (i) determinar ao MCIDADES e à FUNASA, como concedentes, que elaborem plano de ação para correção das ocorrências identificadas em cada um dos convênios;

- (ii) recomendar ao MI que envide esforços junto ao MCIDADES e à FUNASA para aumentar a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário, em especial nos municípios da AID;
- (iii) encaminhar cópia da deliberação que vier a ser proferida ao MI, como coordenador do PISF, à Casa Civil da Presidência da República, como componente do Conselho Gestor do Sistema de Gestão do PISF, além de responsável pelas ações do governo, ao MCIDADES e à FUNASA, como concedentes, à CAIXA, como representante do MCIDADES em contratos de repasse, aos governos estaduais de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, como interessados nos benefícios do PISF, ao Senado Federal, à Câmara dos Deputados, à Receita federal do Brasil, tendo em vista possíveis sonegações fiscais cometidas pelas empresas contratadas, cujas capacidades operacionais mostraram-se incompatíveis com a execução das obras e às respectivas assembleias legislativas e TCE; e
- (iv) determinar que o TCU, por meio da SECEX-PB, realize monitoramento das medidas a serem implementadas. Ao longo do monitoramento, os planos de ação devem ser avaliados e comparadas as medidas efetivamente adotadas pelos órgãos com as propostas, avaliando se persistem os achados apontados no relatório. Caso necessário, a Unidade Técnica deverá submeter ao Ministro-Relator proposta de realização de audiência pública para discutir as medidas saneadoras, e/ou proposta para realização de inspeções.

O MI manifestou-se relatando que realizou reuniões com o MPOG, FUNASA e MCIDADES para atualizar-se sobre o andamento das ações de esgotamento sanitário e que envidará esforços para intensificar o acompanhamento dessas obras, buscando maior efetividade dessas ações.

Considerando que o MI não questionou aspectos técnicos referentes aos critérios adotados no relatório, interpreta-se a manifestação no sentido de validar a metodologia utilizada.

O Ministério das Cidades manifestou-se com relação a dois pontos: (i) existência de possível defasagem nas informações apresentadas pelo TCU, alegando que alguns apontamentos estavam superados; e (ii) sugestão para alteração da proposta de encaminhamento, por entender que a elaboração do plano de ação com as medidas saneadoras deve ser de responsabilidade dos convenentes, governos estaduais e municipais, restando ao concedente o monitoramento das iniciativas e acompanhamento do seu efetivo cumprimento.

Quanto à defasagem das informações, o MCIDADES não indicou de forma objetiva quais situações estavam efetivamente superadas. Ao examinar a planilha encaminhada, verificou-se que as datas de vigência dos convênios foram prorrogadas. No entanto, em nova consulta às bases de dados utilizadas, realizada em 17/3/2015, observou-se que as informações se mantinham inalteradas, sendo um

indicativo de defasagem nas bases de dados. Ainda assim, mesmo considerando os novos dados, percebeu-se que há convênios cuja vigência encerrou novamente, a exemplo dos Convênios SIAFI 612087, 593850 e 594686, sem que os objetos estivessem concluídos, o que ratifica e mantém a importância do achado de auditoria.

Deficiências pontuais nos sistemas de informação constituem-se como uma limitação conhecida da utilização intensiva das bases de dados (BITAR; BRAGA, 2013, p. 155 e 156; HELLER; RODRIGUES, 2014, p. 65; MONTENEGRO; CAMPOS, 2014, p. 336 e 343; MORAES *et al.*, 2014, p. 273–275). Essa limitação foi concretamente constatada neste estudo quando da análise realizada em cada uma das fontes de informação. Quando da utilização de modelos como o CDOP, os resultados gerais devem ser utilizados para fins de visão sistêmica, ou como critério para uma atuação mais seletiva. Procedimentos específicos são requeridos para avaliação de casos particulares.

Com relação à elaboração de plano de ação para saneamento das irregularidades, o MCIDADES, como órgão concedente, deve ter uma atuação proativa e tempestiva, em que pese não ser o responsável direto pela execução do objeto, conforme se extrai das normas relativas aos convênios federais, em especial o contido nos arts. 65 a 70 da Portaria Interministerial CGU/MF/MP 507/2011.

A FUNASA, por sua vez, não se manifestou a respeito do relatório preliminar.

A análise dos comentários apresenta-se no sentido de validar o modelo proposto, desde que sejam reconhecidas as limitações inerentes à utilização intensiva de bases de dados governamentais como fonte de informação para o controle das obras de esgotamento sanitário.

4.4 Benefícios e limitações

O CDOP foi desenvolvido com base em estudo realizado no âmbito de auditoria de natureza operacional no TCU. As auditorias operacionais, também chamadas de auditoria de desempenho, trazem uma série de vantagens frente às auditorias de conformidade quando se trata de avaliação sistêmica, com destaque na Grã-Bretanha, Estados Unidos e Canadá (LOUREIRO *et al.*, 2015; MORAES, 2006, p. 48–50). O caráter inovador dos resultados apresentados nesta tese, porém, não está no formato de auditoria operacional em si, mas sim na possibilidade de acompanhar a distância, com auxílio de geotecnologias, um elevado número de obras.

Como principais benefícios destaca-se a contribuição para aprimorar a gestão, com controle baseado em diagnóstico, análise da situação das obras e identificação de problemas e gargalos para conclusão das mesmas. Busca-se também proporcionar: (i) acompanhamento da evolução das obras; (ii) ações

tempestivas e efetivas, inclusive mediante parcerias com outros órgãos; e (iii) indução da conclusão das obras pela expectativa de controle e caráter pedagógico.

A partir das informações obtidas com a análises dos dados coletados, os órgãos responsáveis podem atuar de duas formas distintas. Primeiramente, adotar medidas mais relacionadas ao controle da governança, com recomendações e divulgação dos resultados junto aos *stakeholders* e à sociedade em geral, sendo essas medidas de caráter mais pedagógico e preventivo. As recomendações devem ser discriminadas por órgão responsável, estado e município. A segunda maneira é partir para ações mais específicas, relacionadas a cada caso concreto, podendo ser preventivas, corretivas ou, em último caso, também punitivas, caso constatadas irregularidades mais graves.

Com esse modelo de controle, abrem-se novas possibilidades de contribuição para a gestão ambiental e de recursos hídricos. Quanto ao TCU especificamente, destaca-se sua crescente participação na área ambiental (BRITTO, 2007, p. 59–61; LIMA; MAGRINI, 2010; TCU, 2015). Além dos exemplos já mencionados em “2.4.3 Tribunal de Contas da União no controle ambiental e na fiscalização de obras”, existem vários outros trabalhos relevantes, tais como, sobre o processo de licenciamento ambiental e atuação institucional do IBAMA, ações de combate às queimadas, ações para mitigação da emissão de gases de efeito estufa na Amazônia, recuperação de áreas degradadas e governança de Unidades de Conservação na Amazônia (TCU, 2015, p. 54–56).

Outros exemplos são relacionados ao controle de ações referentes à revitalização de bacias hidrográficas e ao incremento da infraestrutura de saneamento básico (TCU, 2011b, 2012a, 2013e). Quanto à revitalização de bacias, com a aplicação do CDOP podem-se controlar diversas ações sendo realizadas em paralelo em determinada bacia hidrográfica, visualizando-se o andamento das obras como um todo, identificando padrões e possíveis gargalos para atingimento dos objetivos pretendidos. Quanto ao saneamento, de forma semelhante à aplicação para esgotamento sanitário, pode-se aplicar o CDOP para obras de distribuição de água, drenagem ou resíduos sólidos.

Esses benefícios estão alinhados aos desafios da Pós-Graduação no país quanto à gestão ambiental e de recursos hídricos, pois se procura aprimorar modelos de gestão (especificamente no tocante ao controle), usar bancos de dados e incorporar visão interdisciplinar e sistêmica nas análises, possibilitando articular aspectos ecológicos, sociais e econômicos (TUNDISI, 2010, p. 81–94; TURKIENICZ, 2012, p. 58–66 e 158–160).

Como limitações do Modelo CDOP, destacam-se aspectos referentes à confiança e disponibilidade dos dados. Quanto à confiança dos dados, conforme já detalhado no subtítulo “3.2.2 - Análise das fontes de informações utilizadas”, foram identificadas algumas inconsistências nas bases consultadas.

Alguns autores também apontaram dificuldades para descrever a situação exata do país com relação ao esgotamento sanitário, sendo boa parte dos bancos de dados disponíveis incompleta, com inconsistências ou desarticulados. Grande parte não possui dados de todos os municípios, nem variáveis e indicadores sobre aspectos qualitativos da prestação dos serviços e apropriação da tecnologia utilizada (BITAR; BRAGA, 2013, p. 155 e 156; HELLER; RODRIGUES, 2014, p. 65; MONTENEGRO; CAMPOS, 2014, p. 336 e 343; MORAES *et al.*, 2014, p. 273–275). Quanto à disponibilidade para acessar os dados, verificou-se que, em alguns casos, a obtenção dos dados pode ser trabalhosa, mesmo existindo uma lei - Lei de Acesso a Informação - definindo que os dados devem ser públicos, com exceção de situações específicas e fundamentadas. Apesar disso, não se pode deixar de mencionar os avanços quanto à transparência, em especial se comparado ao período referente ao PLANASA, em que faltavam instrumentos transparentes para avaliação da prestação dos serviços (GALVÃO JÚNIOR; SILVA, 2013, p. 651).

Essas limitações, contudo, não descaracterizam a importância da análise de dados, na medida em que se buscam padrões gerais, tendências e riscos. Casos específicos devem ser aprofundados, incluindo eventuais inspeções *in loco* para verificação das informações extraídas com o CDOP. Conclusões semelhantes são relatadas por Heller e Rodrigues (2014, p. 65), que, mesmo diante de inconsistências e descontinuidades nos dados de diversos sistemas, conseguiram extrair informações para pautar e orientar a consolidação de indicadores para saneamento básico.

Acrescenta-se que existe também uma série de problemas relacionados à gestão das obras que o modelo não é capaz de identificar, tal como projetos deficientes e falhas na fiscalização por parte dos concedentes e dos convenentes. A identificação de indícios relacionados a essas ocorrências traria significativo avanço ao modelo, pois são problemas corriqueiros em obras de esgotamento sanitário e com sérias consequências ao alcance dos benefícios esperados com os empreendimentos. Além dos parâmetros de avaliação já mencionados, foram testadas possibilidades para identificar: obras sem licença ambiental de instalação; projetos sem ART; obras sem ART de fiscalização; e obras sem ART de execução. Porém, os resultados obtidos não foram satisfatórios.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos possibilitaram o desenvolvimento de um modelo de controle para acompanhamento a distância de elevada quantidade de obras de esgotamento sanitário, com a utilização de bancos de dados disponíveis e espacialização das informações com aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG). O Controle a Distância de Obras Públicas (CDOP) possibilitou obter informações relevantes, a partir de análises não-espaciais e espaciais, materializadas em tabelas, gráficos e mapas temáticos.

As saídas do CDOP, para cada parâmetro de avaliação, devem ser encaradas como indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental. As informações podem ser utilizadas no processo de tomada de decisão, no âmbito dos órgãos executores, de licenciamento ambiental ou de controle governamental.

5.1 Conclusões

A avaliação da sistemática de controle utilizada pelos Tribunais de Contas mostrou oportunidades de melhoria na atuação desses órgãos, apontando para a relevância de estudos para criação de modelos alternativos de atuação no controle de obras. Constatou-se a oportunidade desses órgãos atuarem de forma mais ágil e transparente, buscando também uma postura mais pedagógica e preventiva. Como desafio no campo da auditoria de obras públicas, indicou-se o desenvolvimento de modelos de controle que possibilitem visão sistêmica da situação das obras em determinados setores. Destaca-se que um bom controle é insumo fundamental também para o planejamento de novas ações.

Considerando a previsão de elevada quantidade de obras de esgotamento sanitário e as dificuldades práticas de acompanhá-las, adequadamente, apenas com inspeções *in loco*, o controle a distância justifica-se como oportunidade para acompanhamento sistêmico e atuação mais seletiva.

A análise das fontes de informações demonstrou que as mesmas podem ser muito úteis para aprimorar a gestão das obras. Por outro lado, existem limitações relacionadas à ausência de dados, à desatualização e aos erros em alguns bancos de dados. Além de avaliar as limitações específicas de cada fonte, antes da decisão de efetivamente utilizá-las, devem ser objetivamente identificados campos-chave que permitam integrá-las com outras fontes, sob risco de inviabilizar seu uso efetivo.

O CDOP gerou informações sobre: cronograma de execução, vigência dos convênios, licenciamento ambiental, capacidade operacional das construtoras, movimentações das contas bancárias e risco de poluição dos recursos hídricos. A aplicação experimental serviu para validar o modelo, assim como

as inspeções *in loco* e análise dos comentários dos gestores públicos. A aplicação nos 399 municípios da área de estudo possibilitou avaliar 142 convênios para obras de esgoto, identificando-se as seguintes ocorrências:

- em 78 convênios (55%), as obras estavam paralisadas, em ritmo lento de execução ou não iniciadas com atraso superior a dois anos;
- em 55 convênios (39%), os objetos não estavam concluídos, mas os prazos de vigência dos convênios estavam expirados;
- em 42 (30%), as licenças ambientais de instalação estavam vencidas;
- em 18 (13%), as empresas contratadas para execução das obras tinham capacidade operacional incompatível com a execução das mesmas;
- em 13 (9%), foram identificadas movimentações atípicas nas contas bancárias; e
- há risco de poluição das águas da transposição do São Francisco, visto que, em 57% dos municípios da área de influência direta do projeto, não há serviços adequados de esgotamento sanitário, nem há convênio para execução de obras de esgoto.

Além da aplicação para obras de esgoto, identificaram-se outros casos em que o CDOP tem potencial para contribuir na gestão ambiental e de recursos hídricos. Citam-se, como exemplos, ações referentes à revitalização de bacias hidrográficas e ao incremento da infraestrutura de saneamento básico. Quanto à revitalização de bacias, pode-se controlar diversas ações sendo realizadas em determinada bacia hidrográfica, possibilitando visualizar o andamento das obras como um todo, identificando padrões e gargalos para atingimento dos objetivos pretendidos. Quanto ao saneamento básico, pode-se aplicar o CDOP para obras de distribuição de água, drenagem urbana e gestão de resíduos sólidos.

O modelo mostra-se replicável para outros órgãos. O próprio Ministério da Integração Nacional (MI), como coordenador do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF), pode utilizar-se da coleta, cruzamento e análise de dados para obter informações relevantes sobre gargalos para conclusão das obras conveniadas. A utilização intensiva de dados é uma tendência, requerendo aprimoramento de metodologias para aplicação na gestão ambiental e de recursos hídricos. Órgãos ambientais também podem fazer uso para avaliação da situação das licenças emitidas, por exemplo.

A construção de modelos como o CDOP está efetivamente alinhada aos desafios da Pós-Graduação no país quanto à gestão ambiental e de recursos hídricos, pois procura aprimorar modelos de gestão, usar bancos de dados e incorporar visão interdisciplinar e sistêmica nas análises, possibilitando articular aspectos ecológicos, sociais e econômicos.

Existem limitações do modelo, tais como: (i) a existência de inconsistências nos bancos de dados diminui a sua acurácia; (ii) a automatização dos processos de tratamento e análise é prejudicada em

decorrência de frequentes alterações nas estruturas dos bancos; (iii) o modelo não se mostra interessante para aplicações pontuais, pois trabalhar com elevado volume de dados requer tempo e capital humano para coleta e tratamento; (iv) a metodologia foi desenvolvida para aplicação em convênios federais, para aplicação em obras executados por outros meios deve-se adaptar a metodologia; (v) em casos mais graves, devem ser também aplicados procedimentos tradicionais de auditoria, incluindo verificações *in loco*; (vi) existem vários impedimentos para a conclusão das obras que o modelo não é capaz de identificar, tal como projeto e fiscalização deficientes; (vii) os indicadores utilizados são pouco relacionados à efetividade da política pública propriamente, sendo mais relacionados à eficácia e eficiência; e (viii) o modelo não teve sua acurácia quantificada;

Mesmo diante dessas limitações, o CDOP é uma alternativa para aprimorar o controle ambiental, possibilitando acompanhamento de elevado número de obras de interesse público. Espera-se incremento na qualidade dos trabalhos, com informações oriundas de diversas fontes e empreendimentos, permitindo análise crítica dos resultados. Considerando que os sistemas de informações são periodicamente atualizados, possibilita-se uma atuação mais tempestiva e preventiva. Com a divulgação dos resultados obtidos e a expectativa de controle gerada, o controle pode servir também como indutor da conclusão das obras e, por extensão, de futuros planejamentos.

A tese contribui ao avanço do conhecimento atual referente à gestão de obras de esgotamento sanitário, às fontes de informações disponíveis e às potencialidades de utilização destas no controle ambiental e de recursos hídricos. Espera-se contribuir também ao aprimoramento da gestão das obras, resultando em obras executadas e concluídas com maior retorno ecológico, social e econômico. Na medida em que a metodologia seja aplicada em maior escala, espera-se seu constante aprimoramento, reduzindo as limitações apontadas e acrescentando novas funcionalidades ao modelo.

5.2 Recomendações

O CDOP já se apresenta como uma versão aplicável de um modelo de controle a distância, mas existem vários pontos que podem ser aprimorados. Indica-se a necessidade de novos estudos, envolvendo as instituições responsáveis, tanto pela gestão direta como pelo controle das obras, em parceria com institutos de pesquisa, conforme se discute a seguir.

São prementes estudos mais aprofundados relacionados à automatização da integração e análise de bases de dados existentes. A existência de uma diversidade de fontes de informações, de responsabilidade de diferentes esferas de governo e com propósitos distintos, dificulta a interoperabilidade das bases. Acrescenta-se o contexto de *Big Data* e SIG colaborativo, com volumes de dados cada vez maiores e diversificados.

Recomenda-se testar o CDOP para outros tipos de obras e com aplicação de indicadores de efetividade, potencializando ainda mais sua contribuição para a gestão ambiental. Acrescenta-se a conveniência de estudos mais aprofundados buscando correlação entre as variáveis avaliadas. Deve ser avaliada e testada, de forma concreta, a viabilidade da realização do controle a distância com a participação conjunta de vários órgãos da administração pública, tal como os próprios ministérios concedentes, órgãos ambientais, Conselho Regional de Engenharia e Agronomia etc. Acrescentam-se oportunidades de integrar modelos de controle de obras com modelos matemáticos de qualidade das águas, permitindo avaliar, de forma mais precisa, riscos ambientais da não-conclusão das obras.

A integração de modelos como o CDOP e o monitoramento com imagens de satélite e/ou VANT deve ser um paradigma a ser assimilado. Pesquisas nessa direção, aliadas a medidas de estímulo ao controle social, têm muito a contribuir para o controle ambiental. Cabe aos órgãos de controle desenvolver uma interface amigável e um manual de utilização para expandir a aplicação do CDOP. Além disso, os órgãos concedentes devem exigir e disponibilizar à sociedade, em formato digital, os projetos georreferenciados, além de intensificar o processo de abertura dos dados em geral.

Como recomendações mais específicas à área de Cartografia, buscando aderência aos padrões da Infraestrutura Nacional de Dados Espacial (INDE), quando da geração de produtos cartográficos, os mesmos devem seguir as respectivas especificações técnicas, a exemplo de: (i) Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (BRASIL, 2016), com escala apropriada, sistema de referência, qualidade, frequência de atualização e preenchimento adequado dos metadados; (ii) Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos com GPS (IBGE, 2008), adotando as estações de referência Sistema Geodésico Brasileiro e a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo; e (iii) nos levantamentos de grandes áreas, os dados devem ser atrelados ao mapeamento sistemático brasileiro, para serem incorporados ao patrimônio cartográfico nacional.

Por fim, devem ser estimulados programas de capacitação com responsáveis pela gestão e controle, com treinamentos quanto a coleta, tratamento e manipulação de dados e aplicação de geotecnologias. Recomendam-se investimentos em profissionais de geoprocessamento para customização e desenvolvimento de interfaces mais amigáveis para os usuários. Espera-se que a aplicação de conceitos de ciência de dados para gestão ambiental e de recursos hídricos passe a ser parte da cultura dos tomadores de decisão, contribuindo para redução preventiva de problemas.

REFERÊNCIAS

- AESB. Decreto n. 8.211/2014: O alívio em boa hora. **Sanear - a revista do saneamento básico**, n. 24, p. 48, 2014.
- ALLEN, D. W. **GIS tutorial 2: Spatial analysis workbook**. Redlands: ESRI Press, 2009.
- ALOCHIO, L. H. A. **Supremo Tribunal Federal, saneamento e titularidade** *Revista Jus Navigandi*. Teresina, 2013. Disponível em: <www.jus.com.br/artigos/24225>. Acesso em: 21 abr. 2015.
- ALVES, M. F. C. **Múltiplas chibatas? Institucionalização da política de controle da gestão pública federal 1988-2008**. Brasília: Dissertação de Mestrado (Administração) - Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação/ Universidade de Brasília, 2009.
- ANA. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <atlas.ana.gov.br/>. Acesso em: 2 jul. 2015.
- ARANTES, R. B.; ABRUCIO, F. L.; TEIXEIRA, M. A. C. A imagem dos tribunais de contas subnacionais. **Revista do Serviço Público**, v. 56, n. 1, p. 57–83, 2005.
- AULTONIAN, C. S.; MENDES, A. L. **O Congresso Nacional e o Tribunal de Contas da União no controle das obras públicas**. VII SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...** Florianópolis: IBRAOP, 2001. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.
- BAETA, A. P. **Atuação do TCU em auditoria de obras públicas**. XIII SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...** Porto Alegre: IBRAOP, 2010. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.
- BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis**. London: Longman Scientific & Technical, 1995.
- BANCO DO NORDESTE. **Manual de impactos ambientais: Orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999.
- BARBOSA WANDERLEY, M. F. **Estudos em estimação de densidade por kernel: Métodos de**

seleção de características e estimação do parâmetro suavizador. Belo Horizonte: Tese de Doutorado (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

BARROS, A. M. L.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G. Modelling of point and diffuse pollution: Application of the MONERIS model in the Ipojuca river basin, Pernambuco State, Brazil. **Water Science and Technology**, v. 68, n. 2, p. 357–365, 2013.

BEDIROGLU, S.; VOLKAN, Y.; NISANCI, R. Building spatial cloud-based local government services. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer**, v. 169, n. 1, p. 47–60, 2015.

BEHN, R. D. **Rethinking democratic accountability.** 1st. ed. Washigton: Brooking, 2001.

BELFORT, J. A. B. **Geo-Obras ES : Instrumento de transparência e fiscalização em obras públicas.** XV SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...**Vitória: 2013. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

BENEDINI, M. Water quality models for rivers and streams: state of the art and future perspectives. **European Water**, v. 34, n. 1, p. 27–40, 2011.

BEUCHLE, R. et al. **Global tropical forest cover change assessment with medium spatial satellite imagery using a systematic sample grid – data, methods and first results.** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...**Curitiba: 2011. Disponível em: <www.embrapa.br/monitoramento-por-satelite/busca-de-publicacoes/>. Acesso em: 18 maio. 2016.

BITAR, O. Y.; BRAGA, T. O. Indicadores ambientais aplicados à gestão municipal. In: PHILIPPI JÚNIOR, A.; MALHEIROS, T. F. (Eds.). . **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental.** 1a. ed. Barueri: Manole, 2013. p. 125–158.

BLOCH, M. et al. **A peek into Netflix queues.** New YorkThe New York Times, 2010. Disponível em: <www.nytimes.com/interactive/2010/01/10/nyregion/20100110-netflix-map.html?_r=0>. Acesso em: 29 abr. 2016.

BORGES, K. A. V; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. OMT-G: An object-oriented data model for geographic applications. **GeoInformatica**, v. 5, n. 3, p. 221–260, 2001.

BORGES, K. A. V; DAVIS JÚNIOR, C. A.; LAENDER, A. H. F. Modelagem conceitual de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al. (Eds.). . **Banco de dados geográficos.** [s.l.] INPE, 2005. p. 83–136.

BORGES, A. F. et al. Métodos de cartografia e geoprocessamento aplicados na gestão de inconsistências de limites intermunicipais - estudo de caso entre Nova Lima e Belo Horizonte , MG. **Geografias Artigos Científicos**, v. 11, n. 2, p. 80–99, dez. 2015.

BRASIL. **Lei n. 8.080/1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências**, 1980. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 28 abr. 2016.

BRASIL. **Lei n. 6.938/1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**, 1981. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 17 abr. 2015.

BRASIL. **Decreto n. 89.817/1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**, 1984. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 3 maio. 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, 1988. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 15 dez. 2014.

BRASIL. **Lei n. 9.433. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, 1997. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 17 abr. 2015.

BRASIL. **Lei n. 9.985/2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**, 2000. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 5 maio. 2016.

BRASIL. **Lei n. 11.445/2007. Dispõe sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico**, 2007. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 17 abr. 2015.

BRASIL. **Decreto n. 6.666. Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE**, 2008. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 28 abr. 2016.

BRASIL. **Decreto n. 7.271/2010. Regulamenta a Lei n. 11.445, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**, 2010. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 17 abr. 2015.

BRASIL. **Lei n. 11.527/2011. Lei de Acesso à Informação**, 2011. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 17 abr. 2015.

BRASIL. **Decreto n. 8.211/2014. Altera o Decreto n. 7.217/2010**, 2014a. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 17 abr. 2015.

BRASIL. **Obras do PAC referentes ao 11º balanço**, 2014b. Disponível em: <repositorio.dados.gov.br/governo-politica/administracao-publica/pac/PAC_2014_10.xlsx>. Acesso em: 27 maio. 2015.

BRASIL. **Decreto n. 8.437/2015. Estabelece as tipologias de empreendimentos e atividades cujo licenciamento ambiental será de competência da União**, 2015. Disponível em: <www.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 22 maio. 2015.

BRASIL. **Portaria n. 8 - DCT/2016. Aprova a Norma da Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais 2ª Edição**, 2016. Disponível em: <www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2>. Acesso em: 3 maio. 2016.

BRITTO, E. R. **Auditoria ambiental e em saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2007.

BROOKS, C. **Introductory econometrics for finance**. 2nd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 5a. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

CÂMARA, G. et al. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S. et al. (Eds.). . **Análise espacial de dados geográficos**. [s.l.] EMBRAPA, 2004.

CÂMARA, G. Representação computacional de dados geográficos. In: CASANOVA, M. et al. (Eds.). . **Bancos de dados geográficos**. [s.l.] INPE, 2005.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise de eventos pontuais. In: DRUCK, S. et al. (Eds.). . **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS JÚNIOR, C. A. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). . **Introdução à Ciência da Geoinformação**. [s.l.] INPE, 2001.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de sistemas de informação geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). . **Introdução à ciência da geoinformação**. [s.l.] INPE, 2001.

CARVALHO NETO, A. A. Fundamentos de auditoria governamental. In: CARVALHO NETO, A. A. et al. (Eds.). . **Auditoria governamental**. Brasília: Instituto Serzedello Corrêa/ TCU, 2011.

CAVALCANTI, P. C. T. **Geoprocessamento aplicado à auditoria de obras públicas**. Belo Horizonte: Fórum, 2013.

CAVALCANTI, R. C.; TAVARES JÚNIOR, J. R.; CANDEIAS, A. L. B. Simulação de mapeamento de riscos de inundações usando dados Lidar: estudo de caso da bacia do rio Una-PE. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/4, p. 703–716, 2013.

CEBDS; TRATA BRASIL. **Benefícios Econômicos da Expansão do Saneamento Brasileiro**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <cebds.org/publicacoes/beneficios-economicos-da-expansao-saneamento-brasileiro/#.Vtocc9Dcqzw>. Acesso em: 26 ago. 2014.

CELESTINO, V. S. **Considerações sobre a qualidade altimétrica para projetos de usinas hidrelétricas**. Florianópolis: Tese de Doutorado (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

CHAN, D. Y.; VASARHELYI, M. A. Innovation and practice of continuous auditing. **International Journal of Accounting Information Systems**, v. 12, n. 2, p. 152–160, 2011.

CHAVES, R. S. Controle da administração pública. In: **Controles na administração pública**. Brasília: Instituto Serzedello Corrêa/ TCU, 2012.

CNI. **Infraestrutura: o custo do atraso e as reformas necessárias**. Brasília: CNI, 2014. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2014/07/21/444/WEB_LIVRO_10_INFRAESTRUTURA.pdf>. Acesso em: 2 maio. 2016.

CODEVASF. **Caracterização da bacia**, 2012. Disponível em: <www2.codevasf.gov.br/osvales/vale-do-sao-francisco/identificacao>. Acesso em: 5 jun. 2015.

CONAMA. **Resolução n. 1. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental**, 1986. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 17 abr. 2015.

CONAMA. **Resolução n. 237. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental**, 1997. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 14 abr. 2015.

CONAMA. **Resolução n. 377/2006. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário**, 2007. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 17 abr. 2015.

CORDÃO, M. J. DE S.; RUFINO, I. A. A.; ARAÚJO, E. L. DE. Geotecnologias aplicadas ao planejamento de sistemas de abastecimento de água urbanos: uma proposta metodológica.

Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 3, p. 263–274, 2013.

COSTA, G. P. C. **Contribuições da auditoria contínua para a efetividade do controle externo**. Brasília: Monografia de Especialização (Auditoria e Controle Governamental) - Instituto Serzedello Corrêa/TCU, 2012.

DALTIO, J. et al. GeoPAC - Sistema de Monitoramento de Obras do PAC. **Circular Técnica - EMBRAPA**, n. 1, 2013.

DAYRELL, M. R. **Auditoria técnica de engenharia: uma necessidade para o controle externo dos Tribunais de Contas**. I SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...**Brasília: IBRAOP, 1996. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

DELIPETREV, B.; JONOSKI, A.; SOLOMATINE, D. P. Development of a web application for water resources based on open source software. **Computers & Geosciences**, v. 62, p. 35–42, 2014.

DI PIETRO, M. S. Z. **Direito Administrativo**. 23. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010.

DUBA, V. H. C.; DI MAIO, A. C. Geotecnologias e rede de informações : um mapa social para Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 66/4, p. 783–801, 2014.

ECOLOGY BRASIL; AGRAR; JP MEIO AMBIENTE. **Projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional: Relatório de Impacto Ambiental - RIMA**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004a.

ECOLOGY BRASIL; AGRAR; JP MEIO AMBIENTE. **Projeto de integração do rio São Francisco com bacias hidrográficas do nordeste setentrional: Estudo de Impacto Ambiental - EIA**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004b.

EL-FADEL, M. et al. Determinants of diarrhea prevalence in urban slums: A comparative assessment towards enhanced environmental management. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 2, p. 665–677, 2014.

ESRI. **How kernel density works**. ArcGIS Desktop Help 10.1, 2012.

ESRI. **Layers of our world**, 2015. Disponível em: <www.esri-ireland.ie>. Acesso em: 3 jun. 2015.

EVANGELIDIS, K. et al. Geospatial services in the Cloud. **Computers & Geosciences**, v. 63, p.

116–122, 2014.

FALCÃO, C. T. G. et al. **Parecer n. 6/2016/CÂMARA PERMANENTE CONVÊNIOS/ DEPCONSU/ PGF/ AGU. Temas relacionados a convênios e demais ajustes congêneres.** Brasília: Advocacia Geral da União, 2013. Disponível em: <www.agu.gov.br/page/download/index/id/15247692>. Acesso em: 4 maio. 2015.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; RIGO, D. Modelo analítico de qualidade da água acoplado com Sistema de Informação Geográfica para simulação de lançamentos com duração variada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 359–370, 2013.

FERNANDES, F. J. S.; COSTA, G. M. **Sistema de cadastro de obras públicas utilizando georeferenciamento.** XI SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...** Curitiba: IBRAOP, 2006. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

FERRAZ, C. A. M. et al. O uso de geotecnologias como uma nova ferramenta para o controle externo. **Revista do TCU**, n. 133, 2015.

FERREIRA, A. J. L.; DUARTE, A. D. S. A GIS-based infrastructure management system for municipalities. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer**, v. 159, n. 2, p. 113–120, 2006.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONSECA, J. E. **Utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) na organização de ações em Programas de Saúde da Família.** Campinas: Tese de Doutorado (Saúde Coletiva) - Faculdade de Ciências Médicas/ Universidade Estadual de Campinas, 2011.

FREIRE, A. P.; CASTRO, E. C. Análise da Correlação do uso e Ocupação do Solo e da Qualidade da Água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 41–49, 2014.

FREITAS, R. K. V. DE; DACORSO, A. L. R. Inovação aberta na gestão pública: análise do plano de ação brasileiro para a Open Government Partnership. **Revista de Administração Pública**, v. 48, n. 4, p. 869–888, 2014.

FREITAS, C. A. S. Planejamento de auditoria. In: CARVALHO NETO, A. A. et al. (Eds.). **Auditoria governamental.** Brasília: Instituto Serzedello Corrêa/ TCU, 2011. p. 185–250.

FU, C.; AOUAD, G. Data integration for quantitative analysis of sustainability. **Proceedings of the**

Institution of Civil Engineers- Urban Design and Planning, v. 162, n. DP3, p. 131–140, 2009.

GALVÃO JÚNIOR, A. C.; SILVA, A. C. Indicadores para prestação e regulação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. In: PHILIPPI JÚNIOR, A.; MALHEIROS, T. F. (Eds.). . **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. 1a. ed. Barueri: Manole, 2013. p. 647–676.

GARCIA, M. F. **Ocupação do território e impactos ambientais: o papel dos grandes projetos de eletrificação da Amazônia**. Niterói: Dissertação de Mestrado (Geografia) - Universidade Federal Fluminense, 2006.

GARCIA, M. F.; LIMONAD, E. **Grandes projetos hidrelétricos e desenvolvimento regional: algumas considerações sobre Projeto do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira**. IV Encontro Nacional da Anppas. **Anais...Brasília: ANPPAS, 2008**. Disponível em: <www.anppas.org.br/encontro4/cd/>. Acesso em: 3 maio. 2016.

GATRELL, A. C.; BAILEY, T. C. Interactive spatial data analysis in medical geography. **Social Science & Medicine**, v. 42, n. 6, p. 843–855, 1996.

GEYMEN, A.; YOMRALIOGLU, T.; BAZ, I. Developing an urban information system for local governments. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer**, v. 161, n. 3, p. 163–173, 2008.

GOMEL, D.; COELHO, A. F.; FERNANDES, A. L. **Sistema de informações municipais: módulo de obras públicas**. VIII SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...Porto Alegre: IBRAOP, 2003**. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

GOMEL, D.; REINALDIM, M. K. **Fiscalização conjunta TCE-PR e CREA-PR em obras paralisadas**. XV SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...Vitória: 2013**. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos quantitativos estatísticos**. Curitiba: IESDE Brasil S.A, 2008.

GUNKEL, G. et al. Aquatic ecosystem services of reservoirs in semi-arid areas: sustainability and reservoir management. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 197, p. 187–200, 2015.

HAX, S. **Sistema de gerência de estradas municipais com uso de geoprocessamento**. Porto

Alegre: Dissertação de Mestrado (Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

HELLER, L.; OLIVEIRA, A. P. B. V; REZENDE, S. C. Políticas públicas de saneamento: por onde passam os conflitos? In: ZHOURI, A.; LASCHEFSKI, K. (Eds.). . **Desenvolvimento e conflitos ambientais**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. p. 302–328.

HELLER, L.; RODRIGUES, L. A. Visão estratégica para o futuro do saneamento básico no Brasil. In: HELLER, L. et al. (Eds.). . **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**. Brasília: MCIDADES/SNSA, 2014. v. 6p. 280.

HOLLER, W. A. **Sistema de monitoramento de obras via satélite**. Curitiba: Monografia (Especialização) - Departamento de Arquitetura/ Universidade Federal do Paraná, 2011.

HORITA, F. E. A. et al. Development of a spatial decision support system for flood risk management in Brazil that combines volunteered geographic information with wireless sensor networks. **Computers & Geosciences**, v. 80, p. 84–94, 2015.

IBAMA. **Parecer n. 31/2005 - COLIC/CGLIC/DILIQ/IBAMA. Análise do EIA/RIMA do PISF**. Brasília: IBAMA, 2005. Disponível em: <www.integracao.gov.br/pt/web/guest/documentos-tecnicos>. Acesso em: 8 jun. 2015.

IBAMA. **Parecer técnico n. 15/2007 - COHID/CGENE/DILIC/IBAMA. Análise técnica do Plano Básico Ambiental e das condicionantes da Licença Prévia n. 200/2005, referente ao PISF**. Brasília: IBAMA, 2007. Disponível em: <www.integracao.gov.br/pt/web/guest/documentos-tecnicos>. Acesso em: 8 jun. 2015.

IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. v. 8.

IBGE. **Resolução do Presidente n. 1/2005. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**, 2005. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/leg.shtm>. Acesso em: 10 maio. 2016.

IBGE. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPSIBGE**, 2008. Disponível em: <www.inde.gov.br/normas-e-padrees.html>. Acesso em: 3 maio. 2016.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**, 2011. Disponível em: <downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso em: 12 abr. 2014.

IBGE. **Tabelas de códigos de áreas**, 2015. Disponível em: <concla.ibge.gov.br/classificacoes/por-

tema/codigo-de-areas/codigo-de-areas>. Acesso em: 25 mar. 2015.

IBRAOP. **Carta de intenções**. V SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...** Salvador: IBRAOP, 2000. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

IBRAOP. **Carta de Gramado**. VIII SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...** Gramado: IBRAOP, 2003. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

INTOSAI. **ISSAI 5540. Use of geospatial information in auditing disaster management and disaster-related aid**, 2013. Disponível em: <www.intosai.org/issai-executive-summaries.html>. Acesso em: 8 out. 2015.

JANS, M.; ALLES, M.; VASARHELYI, M. A. The case for process mining in auditing: sources of value added and areas of application. **International Journal of Accounting Information Systems**, v. 14, n. 1, p. 1–20, 2013.

JOHNSON, S. **O mapa fantasma: como a luta de dois homens contra o cólera mudou o destino de nossas metrópoles**. Rio de Janeiro: Zahar, 2008.

KESER, S.; DUZGUN, S.; AKSOY, A. Application of spatial and non-spatial data analysis in determination of the factors that impact municipal solid waste generation rates in Turkey. **Waste Management**, v. 32, p. 359–371, 2012.

KIM, Y. J.; MARSHALL, W.; PAL, I. Assessment of infrastructure devastated by extreme floods : a case study from Colorado , USA Boulder County received. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Civil Engineering**, v. 167, n. 4, p. 186–191, 2014.

KOONTZ, L. D. **Gegragraphic Information Systems: Challenges to effective data sharing** **Electronic Government**. Washington: United States General Accounting Office (GAO), 2003. Disponível em: <www.gao.gov/products/GAO-03-874T>. Acesso em: 29 abr. 2016.

KUROKAWA, E.; HOLANDA JÚNIOR, O. G. **Uso de imagens de satélite em avaliação de auditoria de movimento de terra**. XIII SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...** Porto Alegre: 2010. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

KUTER, S.; USUL, N.; KUTER, N. Bandwidth determination for kernel density analysis of wildfire

events at forest sub-district scale. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 17, p. 3033–3040, 2011.

LEE, H. et al. Challenge and response in the São Francisco River Basin. **Water Policy**, v. 16, n. SUPPL. 1, p. 153–200, 2014.

LEE, J.-G.; KANG, M. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. **Big Data Research**, n. 2, p. 74–81, 2015.

LEE, S. et al. Using Geographic Information Systems: Audit techniques to detect occupation-without permission structures in national and public-owned land. **International Journal of Government Auditing**, n. Winter 2016, 2016.

LEITE, R. R. **Acompanhamento das obras de esgotamento sanitário nos municípios beneficiados pelo PISF, nos estados do CE, PB, PE e RN**. Apresentação proferida no dia 28/5/2014 em painel de referência na SECEX-PB/TCU. **Anais...João Pessoa: TCU**, 2014.

LIMA, L. H. Controle externo da gestão ambiental. In: **Controle externo da gestão ambiental pública**. Brasília: Instituto Serzedello Corrêa/ TCU, 2011. p. 41.

LIMA, L. H. M. **O Tribunal de Contas da União e o controle externo da gestão ambiental**. Rio de Janeiro: Tese de Doutorado (Planejamento Ambiental) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

LIMA, L. H.; MAGRINI, A. The Brazilian Audit Tribunal's role in improving the federal environmental licensing process. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, n. 2, p. 108–115, 2010.

LISBOA, S. S.; HELLER, L.; SILVEIRA, R. B. Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 341–348, 2013.

LONGLEY, P. A. et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. Tradução A Scheider et al. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LOPES, H. et al. Comportamento espacial da clorofila-a no reservatório de Itaparica, rio São Francisco. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 475–484, 2015.

LOPEZ-NOVOA, U. et al. Multi-objective environmental model evaluation by means of multidimensional kernel density estimators: Efficient and multi-core implementations. **Environmental Modelling and Software**, v. 63, p. 123–136, 2015.

LOUREIRO, M. R. et al. Control and public management performance in Brazil: Challenges for coordination. **International Business Research**, v. 8, n. 8, p. 181–190, 2015.

MACHADO FILHO, E. N. **Fiscalização de obras públicas: Estudo das relações entre o TCU e o Congresso Nacional**. Brasília: Monografia de especialização (Orçamento Público) - Instituto Serzedello Corrêa/ TCU, Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento/ Câmara dos Deputados e Universidade do Legislativo Brasileiro/ Senado Federal, 2008.

MACKENZIE, J. **Mapping the 1854 London cholera outbreak**, 2010. Disponível em: <www.udel.edu/johnmack/>. Acesso em: 4 jun. 2015.

MADEIRA, R. F. O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para a universalização do acesso. **Revista do BNDES**, v. 33, p. 123–154, 2010.

MALHEIROS, T. F.; COUTINHO, S. M. V; PHILIPPI JÚNIOR, A. Desafios do uso de indicadores na avaliação da sustentabilidade. In: PHILIPPI JÚNIOR, A.; MALHEIROS, T. F. (Eds.). . **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. 1a. ed. Barueri: Manole, 2013. p. 1–30.

MARQUES, J. J. B. **A experiência do TCE-PB em inspeções “in loco”**. II SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...**Recife: IBRAOP, 1997. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

MARTINEZ, N. C. **A efetividade das condenações pecuniárias do Tribunal de Contas da União em face da reapreciação judicial de suas decisões: O problema do acórdão do TCU como título executivo meramente extrajudicial**. Brasília: Monografia de especialização (Direito Público e Controle Externo) - Departamento de Direito/ Universidade de Brasília, 2006.

MASSAD, E.; SAMESHIMA, K. **Disciplina de Métodos Quantitativos em Medicina: Qui-Quadrado**, 2003. Disponível em: <www2.fm.usp.br/dim/chiquadrado/index.php>. Acesso em: 2 maio. 2016.

MCIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2013.

MCIDADES. **Sistema nacional de informações sobre saneamento: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2012**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014a.

MCIDADES. **Manual de instruções para aprovação e execução dos programas e ações do Ministério das Cidades: Projetos inseridos no Programa de Aceleração do Crescimento – PAC**

2. Brasília: MCIDADES, 2014b.

MEDEIROS, C. N. DE et al. Utilização de software livre para disponibilização de dados georreferenciados na internet: caso do Sistema Ceará em Mapas Interativo. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/1, p. 25–34, 2013.

MEDEIROS, J. S.; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). . **Introdução à Ciência da Geoinformação**. [s.l.] INPE, 2001.

MELO JÚNIOR, J. B.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JÚNIOR, J. R. Serviços web geográficos e sua interoperabilidade. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 62, 2010.

MENG, Q. Spatial analysis of environment and population at risk of natural gas fracking in the state of Pennsylvania, USA. **Science of the Total Environment**, v. 515-516, p. 198–206, 2015.

MI. **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional: Programa de Apoio ao Saneamento Básico (PBA 32)**. Brasília: MI, 2010. Disponível em: <www.integracao.gov.br/pt/web/guest/38-programas-ambientais>. Acesso em: 8 jun. 2015.

MI. **Municípios beneficiados**, 2013. Disponível em: <www.integracao.gov.br/o-que-e-o-projeto>. Acesso em: 10 dez. 2013.

MI. **Andamento das obras**, 2016. Disponível em: <www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco/o-andamento-das-obras>. Acesso em: 2 maio. 2016.

MIRANDA, E. E. **Monitoramento por satélite das obras do PAC e de seus impactos**Campinas, 2009. Disponível em: <www.pac.cnpm.embrapa.br/>. Acesso em: 24 set. 2014.

MITCHELL, A. **The ESRI guide to GIS Analysis: geographic patterns & relationships**. Redlands: ESRI Press, 1999. v. 1.

MITCHELL, A. **The ESRI guide to GIS Analysis: spatial measurements & statistics**. Redlands: ESRI Press, 2009. v. 2.

MMA. **Novo portal unifica informações online sobre licenças ambientais**, 2014a. Disponível em: <www.mma.gov.br/agencia-informma/item/8284-portal-nacional-de-licenciamento-ambiental>. Acesso em: 15 dez. 2014.

MMA. **Portal Nacional de Licenciamento Ambiental**, 2014b. Disponível em:

<www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=611>. Acesso em: 15 dez. 2014.

MONTENEGRO, M. H. F.; CAMPOS, H. K. T. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico - SINISA. In: HELLER, L. et al. (Eds.). . **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**. Brasília: MCIDADES/SNSA, 2014. v. 7p. 297–346.

MORAES, L. R. S. et al. Análise situacional do déficit em saneamento básico. In: HELLER, L. et al. (Eds.). . **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. v. 2p. 340.

MORAES, T. C. **O processo de modernização dos Tribunais de Contas no contexto da reforma do estado no Brasil**. São Paulo: Dissertação de Mestrado (Administração Pública e Governo) Escola de Administração de Empresas de São Paulo/ Fundação Getulio Vargas, 2006.

MOTTA JÚNIOR, E. P. **Investigação de modelo de auditoria contínua para tribunais de contas**. Recife: Dissertação (Mestrado Profissional) - Departamento de Ciência da Computação/ UFPE, 2010.

MUSA, A. M. Using Geospatial Technology to Enhance Environmental Auditing. **International Journal of Government Auditing**, v. 39, n. 3, p. 18–19, 2012.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NASCIMENTO, R. M. **Os Tribunais de Contas e a execução judicial de suas decisões**. Brasília: Monografia (Bacharel em Direito) - Faculdade de Direito/ Universidade de Brasília, 2011.

NATIVI, S. et al. Big Data challenges in building the Global Earth Observation System of Systems. **Environmental Modelling & Software**, v. 68, p. 1–26, 2015.

NIVALDO, J. **Doutor Marcolino**. 3a. ed. Recife: Bagaço, 1995.

NORWAY. **The Office of the Auditor General's investigation into the efforts of the authorities to limit flood and landslide hazards**. Oslo: Government Administration Services, 2010. Disponível em: <www.riksrevisjonen.no>. Acesso em: 25 fev. 2016.

OLIVEIRA JÚNIOR, W. M. O. **Sistema de apoio ao planejamento e execução de auditorias**. V SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...**Salvador: IBRAOP, 2000. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

PAES, R. F. C. **Uso de geotecnologias para gestão ambiental de reservatórios: O caso do**

reservatório de Itaparica no semiárido brasileiro. Recife: Tese de Doutorado (Engenharia Civil) - UFPE, 2012.

PAES, R. F. C.; CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. C. **Sistemas de Informações Geográficas para subsidiar a tomada de decisão na gestão ambiental de reservatórios.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...**Recife: 2010. Disponível em: <www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII>.

PIDD, M. **Modelagem empresarial: Ferramentas para tomada de decisão.** Porto Alegre: Bookman, 1998.

QUINTÃO, C. M. P. G.; CARNEIRO, R. A tomada de contas especial como instrumento de controle e responsabilização. **Revista de Administração Pública**, v. 49, n. 2, p. 473–491, 2015.

RAŠI, R. et al. An automated approach for segmenting and classifying a large sample of multi-date Landsat imagery for pan-tropical forest monitoring. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3659–3669, 2011.

REIS, A. F.; DACORSO, A. L. R.; TENÓRIO, F. A. G. A influência do uso de tecnologias de informação e comunicação na prestação de contas públicas municipais: um estudo de caso no Tribunal de Contas dos Municípios do estado da Bahia. **Revista de Administração Pública**, v. 49, n. 1, p. 231–251, 2015.

REIS, L. B.; CUNHA, E. C. N. **Energia elétrica e sustentabilidade: Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais.** Barueri: Manole, 2006.

RENTENAAR, K.; WILLIAMS-BRIDGERS, J. Disaster-related aid: Using Geographic Information in Audits. **International Journal of Government Auditing**, 2006.

REZENDE, S. C. et al. Investimentos em saneamento básico: Análise histórica e estimativa de necessidades. In: HELLER, L. et al. (Eds.). . **Panorama do Saneamento Básico no Brasil.** Brasília: MCIDADES/SNSA, 2014. v. 5p. 264.

RIBEIRO NETO, A. et al. Caracterização da formação de cheias na bacia do rio Una em Pernambuco: Simulação hidrológica-hidrodinâmica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 394–403, 2015.

RIBEIRO, R. A lenta evolução da gestão de obras públicas no Brasil. **Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação da Câmara dos Deputados (E-legis)**, n. 8, p. 82–103, 2012.

RIBEIRO, R. J. B.; OLIVEIRA, J. A. P. A inserção da questão ambiental no âmbito de atuação do controle externo federal. **Revista do TCU**, n. 96, p. 26–30, 2003.

ROCHA, M. A. G. **Associação espacial entre mortalidade infantil e precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco**. São Paulo: Tese de Doutorado (Saúde Pública) - Faculdade de Saúde Pública/ Universidade de São Paulo, 2012.

ROCHA, R. S. **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas**. Florianópolis: Tese de Doutorado (Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

ROLIM, F. A.; DINIZ, G. R.; PEREIRA, T. A. C. **Uma contribuição para a auditoria em pequenas barragens de terra: pontos críticos de análise**. X SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...**Recife: IBRAOP, 2005. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

ROTTA, G. V; STOLFO, R. M.; MARIANI, T. T. **Concepção para implantação de sistema informatizado de controle de obras públicas no TCE-RS**. VII SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...**Brasília: IBRAOP, 2002. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

SALBEGO, A. G.; GIOTTO, E.; MADRUGA, P. R. A. Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico e espacialização da infra-estrutura viária rural. **Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 179–195, 2006.

SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 203–212, 2012.

SANTOS, P. M. et al. Ranking dos Tribunais de Contas brasileiros: Uma avaliação a partir dos padrões web em governo eletrônico. **Revista de Administração Pública**, v. 47, n. 3, p. 721–744, 2013.

SANTOS, S. D. R. et al. **Considerações sobre a utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias atuais**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais...**Recife: 2010. Disponível em: <www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII>. Acesso em: 3 maio. 2016.

SCARATTI, D.; MICHELON, W.; SCARATTI, G. Avaliação da eficiência da gestão dos serviços municipais de abastecimento de água e esgotamento sanitário utilizando Data Envelopment Analysis. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 333–340, 2013.

SCRIPTORE, J. S.; AZZONI, C. R.; MENEZES FILHO, N. A. **Saneamento básico e indicadores educacionais no Brasil**: Working paper series 2015-28 - FEA/USP. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.repec.eae.fea.usp.br/documentos/Scriptore_Azzoni_MenezesFilho_28WP.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2016.

SECCHI, L. **Políticas públicas: conceitos, esquemas de análise, casos práticos**. 2a. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

SENADO FEDERAL. **Relatório Final da Comissão Temporária do Senado Federal destinada a inventariar as obras inacabadas custeadas com recursos federais**. Brasília: Senado Federal, 1995. Disponível em: <www.senado.gov.br/atividade/materia/>. Acesso em: 31 maio. 2015.

SENADO FEDERAL. **Atividade legislativa projetos e matérias - Projeto de Lei do Senado n. 439/2009. Estabelece normas relativas ao controle centralizado de informações sobre as obras públicas custeadas com recursos federais** Brasília, 2014. Disponível em: <www.senado.gov.br/atividade/materia/>. Acesso em: 20 maio. 2015.

SERRA, G. **O que é um geodatabase?**. Palestra online proferida em 20/11/2014, 2014. Disponível em: <mundogeo.com/webinar/webinar2014.html>. Acesso em: 3 jun. 2015.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento & meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2011.

SILVA, S. A. **Utilização de técnicas de análise espacial como ferramenta para vigilância de pneumonias radiologicamente definidas na infância em Goiânia**. Goiânia: Tese de Doutorado (Medicina Tropical) – Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública/ Universidade Federal de Goiás, 2004.

SILVA, S. R. F. **Benefícios do controle externo gerados pela atuação do Tribunal de Contas da União em auditoria de obras públicas**. Brasília: Monografia de Especialização (Finanças Públicas) - Escola de Administração Fazendária, 2011.

SINDUSCON. **Custo Unitário Básico de Construção por m²**. Disponível em: <www.cbicdados.com.br/menu/custo-da-construcao/cub-medio-brasil-custo-unitario-basico-de-construcao-por-m2>. Acesso em: 4 maio. 2016.

SMITH, M. J.; GOODCHILD, M. F.; LONGLEY, P. A. **Geospatial Analysis**. 5th. ed. London: The Winchelsea Press, 2015.

SOBRAL, M. C. Estratégia de gestão de recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 7, n. 2, p. 76–82, nov. 2011.

SOUSA, A. C. A. **Política de Saneamento no Brasil: Atores, instituições e interesses**. Rio de Janeiro: Tese de Doutorado (Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca - Fundação Oswaldo Cruz, 2011.

SOUZA JÚNIOR, C. B. et al. Atlas eletrônico analítico como ferramenta na gestão dos recursos hídricos. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, n. 3, p. 226–243, 2013.

SOUZA, J. S. C. et al. **Controle de obras públicas com utilização de sistemas de informações**. Prêmio Reconhe-Ser do TCU. **Anais...** Brasília: TCU, 2015. Disponível em: <portal.tcu.gov.br/innovatcu/projetos/programa-reconhe-ser-trabalhos-inovadores-control-de-obras-publicas-com-utilizacao-de-sistemas-de-informacoes.shtml>. Acesso em: 30 abr. 2016.

SOUZA, W. M. S. et al. Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 34, p. 79–94, 2014.

SUAREZ, A. F.; CANDEIAS, A. L. B. Modelagem dinâmica de cobertura da terra na mata atlântica no município de Maragogipe - BA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 5, p. 953–981, 2014.

TCE-MT. **Sistema de Controle de Obras Públicas: Proposta do Tribunal de Contas do Estado de Mato Grosso para Automatização do Controle de Obras Públicas**. VII SINAOP - Simpósio Nacional de Auditoria de Obras Públicas. **Anais...** Brasília: IBRAOP, 2002. Disponível em: <www.ibraop.org.br/page-artigos/>. Acesso em: 2 maio. 2016.

TCE-MT. **Resolução normativa n. 6/2008. Dispõe sobre a implantação do Sistema GEO-OBRAS - TCE-MT**, 2008. Disponível em: <www.tce.mt.gov.br/conteudo/sid/472>. Acesso em: 4 jun. 2014.

TCU. **Portaria n. 383/1998. Dispõe sobre a estratégia de atuação para o controle da gestão ambiental**, 1998. Disponível em: <portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/normativos/sobre_normativos>. Acesso em: 17 abr. 2015.

TCU. **Portaria n. 214/2001. Manual de auditoria ambiental**, 2001. Disponível em: <portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/normativos/sobre_normativos>. Acesso em: 17 abr. 2015.

TCU. **Acórdão n. 2.017/2006-Plenário. Auditoria operacional no PISF: Avaliação das**

perspectivas de cumprimento dos objetivos do projeto, delimitação de sua abrangência e indicação de falhas no planejamento de obras complementares e na gestão de recursos hídrico.

Brasília: TCU, 2006. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 8 jun. 2015.

TCU. **Cartilha de licenciamento ambiental.** 2a. ed. Brasília: TCU, 4a Secretaria de Controle Externo, 2007a.

TCU. **Acórdão n. 1.188/2007-Plenário. Diagnóstico sobre as obras inacabadas realizadas com recursos da União.** Brasília: TCU, 2007b. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 21 ago. 2014.

TCU. **Auditorias de natureza operacional sobre políticas públicas e mudanças climáticas: Segurança hídrica no semiárido.** Brasília: TCU, 2009.

TCU. **Portaria ADPLAN n. 1/2010. Aprova o documento Orientações para Auditorias de Conformidade,** 2010a. Disponível em: <portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/normativos/sobre_normativos>. Acesso em: 17 abr. 2015.

TCU. **Portaria SEGECEX n. 4/2010. Aprova a revisão do Manual de Auditoria de Natureza Operacional e altera a sua denominação para Manual de Auditoria Operacional,** 2010b. Disponível em: <portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/normativos/sobre_normativos>. Acesso em: 1 jan. 2015.

TCU. **Portaria n. 168/2011. Altera a Portaria n. 280/2010, que dispõe sobre as Normas de Auditoria do Tribunal de Contas da União (NAT),** 2011a. Disponível em: <portal3.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/normativos/sobre_normativos>. Acesso em: 17 abr. 2015.

TCU. **Acórdão n. 402/2011-Plenário. Fiscalização de orientação centralizada em repasses para obras de saneamento básico e habitação popular.** Brasília: TCU, 2011b. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 21 fev. 2014.

TCU. **Acórdão 1.457/2012-Plenário. Auditoria operacional: Avaliação do programa de revitalização da bacia hidrográfica do rio São Francisco, com foco nas ações de recuperação e controle de processos erosivos.** Brasília: TCU, 2012a. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 8 jun. 2015.

TCU. **Portaria SEGECEX n. 33/2012. Aprova a segunda revisão do Roteiro de Auditoria de Obras Públicas**, 2012b. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 26 maio. 2015.

TCU. **Acórdão n. 2.675/2012-Plenário. Irregularidades na execução do convênio EP 1.363/2003**, 2012c. Disponível em: <portal.tcu.gov.br/cidadao/cidadao.htm>. Acesso em: 2 maio. 2016.

TCU. **Acórdão n. 2.058/2013-Plenário. PISF: Eixo leste - fiscalização dos antigos contratos de obras civis já firmados para a execução dos lotes 9 a 13**. Brasília: TCU, 2013a. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 8 jun. 2015.

TCU. **Convênios e outros repasses**. 4a. ed. Brasília: TCU, Secretaria Geral de Controle Externo, 2013b.

TCU. **Acórdão n. 1853/2013-Plenário. Auditoria operacional sobre a compensação ambiental**. Brasília: TCU, 2013c. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 26 maio. 2015.

TCU. **Acórdão n. 198/2013-Plenário. Auditoria para conhecimento da estrutura da Fundação Nacional de Saúde e dos fatores limitantes à sua atuação na consecução de obras de saneamento**. Brasília: TCU, 2013d. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 22 fev. 2014.

TCU. **Acórdão n. 1.764/2013-Plenário. Fiscalização de orientação centralizada em obras de saneamento executadas com recursos da União por intermédio da FUNASA**. Brasília: TCU, 2013e. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 21 fev. 2014.

TCU. **Acórdão n. 2.981/2014-Plenário. Fiscobras 2014 - Consolidação das fiscalizações de obras realizadas no exercício de 2014 para atendimento à lei de diretrizes orçamentárias**. Brasília: TCU, 2014a. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 27 maio. 2015.

TCU. **Acórdão n. 2.569/2014-Plenário. Relatório de levantamento: Publicação de dados abertos na administração pública federal**. Brasília: TCU, 2014b. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 15 dez. 2014.

TCU. **Acórdão n. 699/2014-Plenário. Prestação de informações acerca de obras públicas, financiadas com recursos federais, que se encontram paralisadas**. Brasília: TCU, 2014c.

Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 21 maio. 2015.

TCU. **Referencial Básico de Governança**. Brasília: TCU, Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2014d.

TCU. **Acórdão n. 1.101/2014-Plenário. Consolidação de Fiscalização de Orientação Centralizada em Unidades de Pronto Atendimento**. Brasília: TCU, 2014e. Disponível em: <contas.tcu.gov.br/portaltextual/PesquisaFormulario>. Acesso em: 28 maio. 2015.

TCU. **DGI Consultas - Módulo Transferências**, 2014f. Disponível em: <www.tcu.gov.br/dgi>. Acesso em: 31 out. 2014.

TCU. **Acórdão n. 802/2014-Plenário. Representação. Convênio da FUNASA.**, 2014g. Disponível em: <portal.tcu.gov.br/cidadao/cidadao.htm>. Acesso em: 2 maio. 2016.

TCU. **Conferência: Governança do solo**. Brasília: TCU, 2015.

TECNOMAPAS. **SIG-OBRAS**, 2016. Disponível em: <www.tecnomapas.com.br/produtos/sig-obras/>. Acesso em: 25 fev. 2016.

TEIXEIRA, J. C. *et al.* Estudo do impacto das deficiências de saneamento básico sobre a saúde pública no Brasil no período de 2001 a 2009. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 87–96, 2014.

TEIXEIRA, J. C.; GOMES, M. H. R.; SOUZA, J. A. DE. Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados Brasileiros: estudo comparativo entre 2001 e 2006. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 197–204, 2011.

TRATA BRASIL. **5 anos de Acompanhamento do PAC SANEAMENTO: 2009 a 2013**. [s.l.] TRATA BRASIL, 2014. Disponível em: <www.tratabrasil.org.br/datafiles/de-olho-no-pac/Relatorio-De-Olho-no-PAC-2014.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2015.

TUNDISI, J. G. Água. In: **Plano Nacional de Pós-Graduação (PNPG) 2011-2020: Documentos setoriais**. Brasília: CAPES, 2010. v. 2p. 81–94.

TURKIENICZ, B. Cidades sustentáveis. In: **Contribuição da pós-graduação brasileira para o desenvolvimento sustentável Capes na Rio+20**. Brasília: CAPES, 2012. p. 194.

VARTANIAN, P. R.; CIA, J. C.; MENDES-DA-SILVA, W. **Econometria: Análise de dados com regressão linear**. São Paulo: Editora Saint Paul, 2013.

VASCONCELOS, J. U. R. **TCU e as fiscalizações de obras públicas**. Apresentação proferida no dia 7/5/2014 em audiência pública na Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado Federal. **Anais...**Brasília: 2014. Disponível em: <www.senado.gov.br/atividade/comissoes/listaAudiencia.asp?cc=59>. Acesso em: 28 maio. 2015.

VASCONCELOS, T. L. **Generalização cartográfica para feições lineares em ambiente digital**. Recife: Dissertação de Mestrado (Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Centro de Tecnologia e Geociências/ UFPE, 2012.

VON SPERLING, T.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 313–322, 2013.

WILLIAMSON, D. et al. A better method to smooth crime incident data. **Esri ArcUser Magazine**, n. Jan-March, 1999.

WORLD BANK. **The Worldwide Governance Indicators**, 2015. Disponível em: <info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>. Acesso em: 17 maio. 2016.