

CUSTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À GERAÇÃO ELÉTRICA:
HIDRELÉTRICAS X TERMELÉTRICAS A GÁS NATURAL.

Marcelo de Miranda Reis

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D. Sc.

Prof. Maurício Tiomno Tolmasquim, D. Sc

Prof. Roberto Schaeffer, PhD.

Prof. José Carlos César Amorim, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JANEIRO DE 2001

REIS, MARCELO DE MIRANDA.

Custos Ambientais Associados a Geração Elétrica: Hidrelétricas x Termelétricas à Gás Natural. [Rio de Janeiro] 2001.

XIV, 200p. 29,7 cm (UFRJ/COPPE, M.Sc., Planejamento Energético, 2001)

Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

1. Custo Ambiental – 2. Valoração Ambiental –
3. Externalidade Ambiental – 4. Dano Ambiental
– 5. Geração de Energia – 6. Hidrelétrica – 7.
Termelétrica – Tese.

I. COPPE/UFRJ. II. Título (série).

DEDICATÓRIA

À Renata, minha esposa e amiga, e a meu futuro filho Rafael pelo apoio, amor e alegria
de todos os momentos

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de conviver com pessoas e situações que alavancaram e ainda contribuem para o meu crescimento e formação.

A minha Mãe e Avós pelo amor, carinho, educação e caráter sempre demonstrados, que serviram de base para grande parte da personalidade que tenho hoje.

Ao Exército Brasileiro, mas especificamente ao Instituto Militar de Engenharia, e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela oportunidade de realizar este curso de mestrado.

Aos professores do Programa de Planejamento Energético e Ambiental pelas disciplinas ministradas, e conceitos passados, que em grande parte serviram de base para a realização desta tese.

Agradeço em especial aos professores Luiz Pinguelli Rosa e Maurício Tiomno Tolmasquim, cuja objetividade, a competência profissional e em muitos casos a clarividência, foram fundamentais para orientação e realização desta tese.

Ao professor José Carlos Amorim do Instituto Militar de Engenharia, pelo apoio na obtenção de dados e na formulação de idéias, principalmente no que diz respeito a centrais hidrelétricas.

Aos companheiros do PPE, do IVIG e do IME pelas trocas de idéias na formulação da base teórica, e pelos igualmente importantes momentos de descontração durante o trabalho.

E a todas as pessoas, ainda não citadas, que direta ou indiretamente contribuíram com minhas idéias ou meu estado emocional para realização desta tese.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

CUSTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A GERAÇÃO ELÉTRICA:
HIDRELÉTRICAS X TERMELÉTRICAS À GÁS NATURAL.

Marcelo de Miranda Reis

Janeiro / 2001

Orientadores:

Luiz Pinguelli Rosa

Maurício Tiomno Tolmasquim

Programa: Planejamento Energético

Este trabalho apresenta metodologias para valoração dos custos ambientais decorrentes dos principais danos dos ciclos de disponibilização de energia elétrica através de hidrelétricas e de termelétricas a gás natural.

Inicialmente são estabelecidos os conceitos teóricos abrangendo: a descrição das metodologias de valoração, das possíveis formas de internalização dos danos no valor dos produtos, dos impactos ambientais de hidrelétricas e de termelétricas nos ciclos de combustível, e das metodologias que podem ser aplicadas para valoração dos principais danos causados pelos impactos.

Em seguida são desenvolvidos estudos de caso, com aplicação das metodologias, nas usinas hidrelétricas de Simplício e Serra da Mesa, e no complexo termelétrico composto pelas usinas RioGen e RioGen Merchant.

Por fim são apresentadas as conclusões e recomendações para uma melhor aplicação futura das metodologias de valoração de custos ambientais no Brasil.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ENVIRONMENTAL COSTS ASSOCIATED TO THE ELECTRIC GENERATION:
HYDROELECTRICS X NATURAL GAS THERMOELECTRICS.

Marcelo de Miranda Reis

January / 2001

Advisors:

Luiz Pinguelli Rosa

Maurício Tiomno Tolmasquim

Department: Energy Planning

This work presents the methodologies for valuation of the environmental costs resulting from the main damages of the cycles of electric energy generated through hydroelectrics and natural gas thermoelectrics.

Initially theoretical concepts are established, embracing: the description of the valuation methodologies, the possible ways of damages internalization in the value of the products, the environmental impacts of hydroelectrics and natural gas thermoelectrics in these fuel cycles, and the methodologies that can be applied for value the main damages caused by the impacts.

Then case studies are developed, with application of the methodologies in the hydroelectrics plants of Simplicio and Serra da Mesa, and in the thermoelectric complex composed for RioGen and RioGen Merchant plants.

Finally, conclusions and recommendations for a better future application in Brazil of the valuation methodologies are presented.

“O mundo que criamos hoje, como resultado de nosso pensamento, tem agora problemas que não podem ser resolvidos se pensarmos da mesma forma que quando os criamos”.

Albert Einstein.

“O grande chefe de Washington mandou dizer que quer comprar nossa terra. (...) Como podes comprar ou vender o céu, o calor da terra? Tal idéia é estranha. Nós não somos donos da pureza do ar ou do brilho da água. Como pode então comprá-los de nós? Decidimos apenas sobre as coisas de nosso tempo. Toda esta terra é sagrada para meu povo. (...) Sabemos que o homem branco não compreende nosso modo de viver. Uma porção de terra, para ele, tem o mesmo significado que qualquer outra, pois é um forasteiro que vem à noite e extrai da terra aquilo de que necessita. A terra não é sua irmã, mas sua inimiga, e quando ele a conquista, prossegue seu caminho. Deixa para trás os túmulos de seus antepassados, e não se incomoda. Rouba da terra aquilo que seria de seus filhos e não se importa. A sepultura de seu pai e os direitos de seus filhos são esquecidos. Trata sua mãe, a terra, e o seu irmão, o céu, como coisas que possam ser compradas, saqueadas, vendidas como carneiros ou enfeites coloridos. Seu apetite devorará a terra, deixando somente um deserto. Nada respeita. (...) O homem branco deve tratar os animais como se fossem irmãos. Sou um selvagem e não compreendo que possa dar certo de outra forma. (...) Tudo quanto acontece aos animais logo acontece ao homem. (...) Ensina a teus filhos o que temos ensinado aos nossos: que a terra é nossa mãe. Tudo o quanto fere a terra fere aos filhos da terra. (...) De uma coisa sabemos a terra não pertence ao homem; é o homem que pertence a terra. (...) Não foi o homem que teceu as tramas da vida, ele é meramente um fio da mesma, tudo que fizer a trama, a si próprio o fará. (...) Continua poluindo a tua cama e hás de morrer uma noite sufocado em teus próprios dejetos!”

Cacique índio Seattle, da tribo Duwamish, Washington.

O homem acha que com o dinheiro e a tecnologia resolverá tudo, mas quando os recursos naturais não poluídos se escassearem ele não poderá comer ou respirar dinheiro, é preciso atribuir as coisas o real valor do serviço que elas realizam.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO:	1
1.1. CONTEXTO E MOTIVAÇÃO:	1
1.2. OBJETIVOS:	4
1.3. ORGANIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO ESTUDO:	5
2. VALORAÇÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE:	6
2.1. CONCEITOS BÁSICOS DA ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE:	6
2.2. A IMPORTÂNCIA DA VALORAÇÃO:	8
2.3. AS METODOLOGIAS DE VALORAÇÃO ECONÔMICA:	9
2.3.1. <i>Instrumentos para priorizar recursos:</i>	9
2.3.2. <i>O Valor dos Recursos Ambientais:</i>	11
2.3.3. <i>As Metodologias de Valoração Econômica Ambiental:</i>	13
2.3.3.1. A quantificação do dano e a função dose resposta:	13
2.3.3.2. A quantificação da variação de bem estar e o conceito de excedente do consumidor:	14
2.3.3.3. Os Métodos de Valoração Econômica:	16
2.3.3.4. O Método da Produtividade Marginal:	17
2.3.3.5. Os Métodos de Mercados de Bens Substitutos:	18
2.3.3.6. O Método das Despesas de Prevenção/Controle ou Mitigação:	22
2.3.3.7. O Método das Despesas de Proteção:	23
2.3.3.8. Os Métodos de preferência revelada através de mercados reais ou métodos de bens complementares:	24
2.3.3.9. O Método de Valoração de Contingente:	31
2.3.3.10. O Métodos de Valoração Aplicados ao Valor da Vida:	38
2.3.3.11. Principais Objeções e Obstáculos da Aplicação das Metodologias de Valoração:	43
3. IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A GERAÇÃO ELÉTRICA:	43
3.1. CONCEITOS BÁSICOS RELACIONADOS A IMPACTOS AMBIENTAIS:	43
3.2. ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DOS EMPREENDIMENTOS DE GERAÇÃO ELÉTRICA:	47
3.3. IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A HIDRELÉTRICAS:	49
3.4. IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A TERMELÉTRICAS:	54
3.4.1. <i>Detalhamento do ciclo de combustível do gás natural:</i>	55
3.4.2. <i>Impactos de termelétricas à gás natural:</i>	62
3.5. OUTROS ASPECTOS DE HIDRELÉTRICAS E TERMELÉTRICAS:	71
4. METODOLOGIAS PROPOSTAS PARA VALORAÇÃO DAS PRINCIPAIS EXTERNALIDADES DA GERAÇÃO ELÉTRICA:	73
4.1. GERAÇÃO HIDRELÉTRICA:	73

4.1.1. Impactos da alteração do fluxo, do reservatório e de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, sobre a agricultura e outras atividades do setor primário:	73
4.1.2. Impactos da construção de acessos, de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, do reservatório, e da construção de linhas de transmissão, sobre as florestas:	74
4.1.3. Impactos da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração):	74
4.1.4. Impactos da alteração do fluxo sobre a navegação:	76
4.1.5. Impactos pela alteração do fluxo com efeitos à saúde pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica (diarréia, mosquitos, malária):	76
4.1.5.1. Valores de mortalidade:	78
4.1.5.2. Valores de morbidade:	80
4.1.6. Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos minerais:	84
4.1.7. Impactos das emissões de gases de estufa sobre a mudança do clima:	85
4.1.8. Impactos das fases de construção e operação sobre as atividades recreacionais:	88
4.1.9. Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos culturais (incluindo e estética) e arqueológicos:	88
4.1.10. Impactos das fases de construção e operação sobre os ecossistemas terrestre e aquáticos, e sobre a biodiversidade:	89
4.1.11. Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes):	89
4.2. GERAÇÃO TERMELÉTRICA:	91
4.2.1. Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes):	91
4.2.2. Impactos das emissões de gases de estufa (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) das fases de extração / operação da plataforma de gás e da geração de energia sobre os homens, ecossistemas terrestres e aquáticos, e os sistemas não vivos:	92
4.2.3. Impactos das emissões atmosféricas da fase de geração de energia sobre os homens e os ecossistemas terrestres:	96
4.2.3.1. Cálculo das emissões atmosféricas:	97
4.2.3.2. Determinação da concentração do poluente ao nível do solo, utilizando modelos de dispersão:	102
4.2.3.3. Determinação do risco individual de morbidade e mortalidade, utilizando dados de vulnerabilidade ou funções dose-resposta, a partir da concentração dos poluentes ao nível do solo:	105
4.2.3.4. Determinação do risco coletivo, utilizando dados demográficos do local:	105
4.2.3.5. Determinação do custo ambiental:	105
5. ESTUDOS DE CASO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL:	108
5.1. USINA HIDRELÉTRICA DE SIMPLÍCIO	108
5.1.1. Impactos da alteração do fluxo, do reservatório e de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, sobre a agricultura e outras atividades do setor primário, e sobre as florestas	108

5.1.2.	<i>Impactos da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração)</i>	111
5.1.3.	<i>Impactos da alteração do fluxo sobre a navegação</i>	116
5.1.4.	<i>Impactos pela alteração do fluxo com efeitos à saúde pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica (diarréia, mosquitos, malária)</i>	116
5.1.5.	<i>Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos minerais</i>	116
5.1.6.	<i>Impactos das emissões de gases de estufa sobre a mudança do clima</i>	116
5.1.7.	<i>Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes)</i>	117
5.2.	USINA HIDRELÉTRICA DE SERRA DA MESA	118
5.2.1.	<i>Impactos da alteração do fluxo, do reservatório e de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, sobre a agricultura e outras atividades do setor primário, e sobre as florestas</i>	118
5.2.2.	<i>Impactos da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração)</i>	125
5.2.3.	<i>Impactos da alteração do fluxo sobre a navegação</i>	128
5.2.4.	<i>Impactos pela alteração do fluxo com efeitos à saúde pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica (diarréia, mosquitos, malária)</i>	128
5.2.4.1.	<i>Impactos pela alteração do fluxo com aumento do número dos casos de malária pela criação da barragem de Tucuruí.</i>	130
5.2.5.	<i>Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos minerais</i>	131
5.2.6.	<i>Impactos das emissões de gases de estufa sobre a mudança do clima</i>	132
5.2.7.	<i>Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes)</i>	132
5.3.	COMPLEXO TERMELÉTRICO RIOGEN – RIOGEN MERCHANT	134
5.3.1.	<i>Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes)</i>	135
5.3.2.	<i>Impactos das emissões de gases de estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) das fases de extração / operação da plataforma de gás e da geração de energia sobre os homens, ecossistemas terrestres e aquáticos, e os sistemas não vivos</i>	136
5.3.3.	<i>Impactos das emissões atmosféricas da fase de geração de energia sobre os homens e os ecossistemas terrestres</i>	137
6.	RESULTADOS, DISCUSSÃO, CONCLUSÕES, E RECOMENDAÇÕES:	153
6.1.	RESULTADOS E DISCUSSÃO:	153
6.2.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:	155
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
	ANEXOS	168
	ANEXO 1 – LEGISLAÇÃO BRASILEIRA RELATIVA A IMPACTOS AMBIENTAIS DE INTERESSE DO SETOR ELÉTRICO:	168

ANEXO 2 – DADOS DO DATASUS E IBGE PARA O CÁLCULO DO CUSTO DE MORBIDADE POR DOENÇAS HÍDRICAS:	172
ANEXO 3 – DADOS DA DATAPREV SOBRE ACIDENTES DE TRABALHO NO SETOR ELÉTRICO:	178
ANEXO 4 – DADOS DO DATASUS E IBGE PARA O CÁLCULO DOS CUSTOS DE MORBIDADE DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS CAUSADAS POR PARTICULADOS SECUNDÁRIOS (NITRATO VIA ÚMIDA):	180
ANEXO 5 – GRÁFICOS PARA OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES DE DISPERSÃO VERTICAL E HORIZONTAL DO MODELO GAUSSIANO:	181
ANEXO 6 – ALTITUDES SOLARES E AZIMUTES ANUAIS NO COMPLEXO TERMELÉTRICO RIOGEN:	182
ANEXO 7 – ESTIMATIVAS POPULACIONAIS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA DISPERSÃO DO COMPLEXO TERMELÉTRICO RIOGEN:	194
ANEXO 8 – CONTRIBUIÇÕES DE DISPERSÃO HORIZONTAL DOS VENTOS NAS DIREÇÕES N, NE, E, SE, S, SO, O, NO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DA DISPERSÃO DO COMPLEXO TERMELÉTRICO RIOGEN:	195

LISTA DE SIGLAS

ACB – Análise Custo Benefício
ACE – Análise Custo Eficiência
ACU – Análise Custo Utilidade
AHE – Aproveitamento Hidrelétrico
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP – Agência Nacional do Petróleo
B/C – Relação Benefício Custo
BEN – Balanço Energético Nacional
BMgLP – Benefício Marginal Líquido Privado
CD – Custo de Doença
CDM – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Develop Mechanism)
CMgA – Custo Marginal de Abatimento
CMgE – Custo Marginal Externo
CNUMAD – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
COMASE – Comissão de Meio Ambiente do Setor Elétrico
CONAMA – Comissão Nacional de Meio Ambiente
COPPE – Coordenação dos Programas de Pós Graduação de Engenharia
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CV – Custo de Viagem
DAA – Disposição à Aceitar
DAP – Disposição à Pagar
DAR – Disposição à Receber
DPMN – Departamento Nacional de Produção Mineral
EC – Comissão Europeia (European Commission)
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EMEP – European Monitoring Evaluation Programme
EXTERNE – Externalities of Energy
FAO – Food and Agriculture Organization

GRIDIS – Grupo de Intercâmbio e Difusão de Informações de Segurança e Medicina do Trabalho

GWP – Potencial de Aquecimento Global (Global Warm Potential)

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Econômico

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

ISCST – Industrial Source Complex Term

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

MVC – Método da Valoração de Contingente

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

NADP – National Acid Deposition Program

OCDE – Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento

ONU – Organização das Nações Unidas

OIE – Oferta Interna de Energia

PCF – Prototype Carbon Fund

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PIB – Produto Interno Bruto

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RADM – Regional Acid Deposition Model

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SIH – Sistema de Informações Hospitalares

SIM – Sistema de Informações de Mortalidade

SNDNC – Sistema Nacional de Doenças de Notificação Compulsória

SUS – Sistema Único de Saúde

TIR – Taxa Interna de Retorno

USEPA – United States Environmental Protection Agency

VE – Valor de Existência

VI – Valor Intrínscico

VNU – Valor de Não Uso

VO – Valor de Opção

VPL – Valor Presente Líquido

VU – Valor de Uso

VUD – Valor de Uso Direto

VUI – Valor de Uso Indireto

1. INTRODUÇÃO:

1.1. Contexto e Motivação:

Nas últimas décadas o homem tem percebido que extrapolou os limites da natureza, e passou a buscar o conceito de desenvolvimento sustentável. Uma das principais questões que teremos que resolver para adotarmos o modelo de desenvolvimento sustentável é a preservação da base ambiental e uma maior integração do econômico com o ambiental, buscando uma drástica redução dos processos de erosão e acidificação dos solos, de degradação dos recursos hídricos, de destruição das florestas nativas e da perda da diversidade biológica.

O grande problema na integração do econômico com o ambiental e da preservação da base de recursos é que os atuais dispositivos econômicos não percebem esta degradação da base ambiental. No nível macroeconômico os atuais Sistemas de Contabilidade Nacional (Produto Interno Bruto, etc ...) e de medida de desenvolvimento como o Índice de Desenvolvimento Econômico (IDH) da ONU não refletem a degradação da base de recursos, e no nível microeconômico os preços dos produtos também não refletem esta degradação e os serviços que a natureza faz¹.

A internalização destes custos de degradação da base de recursos no processo econômico requer a quantificação do valor do serviço proporcionado pela natureza perdido pela degradação, e aí é que entram os métodos de valoração econômica.

Escolheu-se, como empreendimento para aplicação dos métodos, a geração de energia, pois energia sempre esteve relacionada com o desenvolvimento².

O Plano Decenal 1999/2008 da Eletrobrás aponta para o alto crescimento do consumo de energia elétrica, apresentando inclusive taxas superiores às da economia, por questões de demanda reprimida, e aponta ainda para necessidade de expansão do parque de geração visando o atendimento da demanda e a disponibilização de meios para permitir o desenvolvimento necessário a superação da pobreza e do subdesenvolvimento. Se observarmos a matriz energética brasileira (BEN 1999)

¹ Por exemplo no preço do peixe só está embutido o custo de captura do peixe e não o custo para a natureza produzir o peixe e dispô-lo ao homem.

² Anteriormente a energia era vista como insumo indispensável ao desenvolvimento, hoje, esta importância tende a ser relativizada, pois é possível haver, e aconselhável, desenvolvimento com menor necessidade de energia, através de processos mais eficientes, de cogeração e de conservação de energia.

verificaremos que no período 1970/98, a economia brasileira cresceu a uma taxa média anual de 4,3%, apresentando comportamentos distintos a cada década (8,6% nos anos setenta, 1,6% nos anos oitenta e 2,6% nos anos noventa). No mesmo período, a Oferta Interna de Energia - OIE apresentou praticamente o mesmo desempenho - 4,4%, determinando, uma elasticidade-renda de 1,02. Ao nível da demanda de energéticos, a eletricidade, os derivados de petróleo e a biomassa, também apresentaram comportamentos bem distintos, com elasticidades-renda de 1,78, 1,05 e 0,21, respectivamente. O quadro 1 e a figura 1 mostram os índices de crescimento destas variáveis, tomando 1970 como ano base. Verificamos assim que a geração de eletricidade tem tido um crescimento e uma demanda³ maior que o dos outros energéticos, justificando-se assim sua escolha dentro das opções de uso da energia.

Quadro 1 - Elasticidade Renda por Período

Especificação	73 / 70	80 / 73	85 / 80	92 / 85	98 / 92	98 / 70
Oferta Interna de Energia / PIB	0,61	0,85	3,15	1,57	1,25	1,02
Consumo de Eletricidade / PIB	1,14	1,65	6,4	2,83	1,42	1,78
Consumo de Der. Petróleo / PIB	1,17	0,81	-1,84	2,11	1,68	1,05
Consumo Biomassa / PIB	0,01	0,07	3,76	-0,69	0,39	0,21
Cons. Industrial de Energia / Via Ind.	0,74	1,26	2,63	3	0,92	1,42
Cons. Eletric. Industrial / Via Ind.	1,01	1,86	5,59	4,33	0,68	2
Elet. Comer. & Publica / Via Comércio	0,99	1,27	3,58	1,85	2,21	1,56

Fonte: Balanço Energético Nacional – 1999.

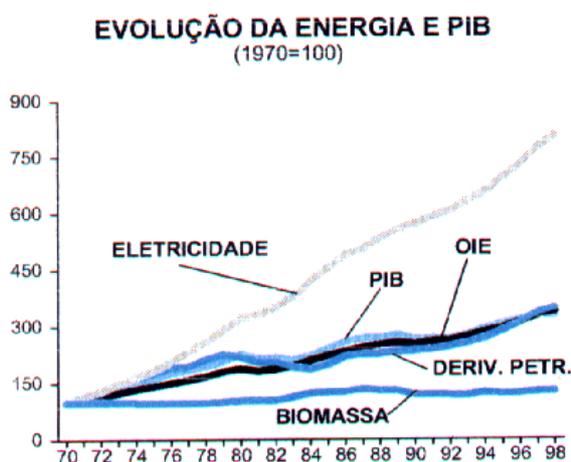


Figura 1- Fonte: Balanço Energético Nacional 1999.

³ Se considerarmos 1 kWh = 3132 kcal (equivalente térmico médio do óleo combustível nas termelétricas brasileiras). Caso considerássemos 1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico - Primeiro Princípio da Termodinâmica) o petróleo e derivados teriam uma elasticidade-renda superior.

Dentre as formas de geração de energia elétrica a escolha das hidrelétricas justifica-se por historicamente o Brasil utilizar predominantemente esta forma na transformação da energia primária, no caso hidráulica, em energia secundária. De fato, o BEN 1999 nos mostra que o Setor Elétrico mais que quintuplicou sua capacidade instalada de geração no período 1970/98. Em dezembro 1998 o setor contava com 65,2 GW em operação (incluindo os autoprodutores), proporcionando 91% de geração hidráulica e 9% de geração térmica e nuclear. A capacidade instalada de geração hidráulica de 56,8 GW, em 31/12/98, representava cerca de 22% do potencial hidráulico total do País. O consumo de eletricidade no período 1970/98 cresceu 7,7% a.a., e a participação da eletricidade no consumo final de energia passou de 16% em 1970 para 39% em 1998.

A escolha das termelétricas deve-se as mudanças por que vem passando o setor elétrico brasileiro, com sua privatização e descentralização, que indicam que a estrutura de expansão será direcionada fortemente pelas forças do mercado, com base em um aumento significativo do aporte de recursos da iniciativa privada. Tendo em vista que, os investimentos em centrais termelétricas, assim como o prazo de maturação dos mesmos, em geral são menores em relação as grandes centrais hidrelétricas, é de se esperar uma queda tendencial da participação das mesmas na expansão da capacidade instalada⁴. De fato, baseado nos dados do Plano Decenal de Expansão 1999/2008 (ELETROBRÁS, 1999), foi calculada a evolução anual da capacidade instalada por fonte de geração (quadro 2). O Plano indica uma redução do peso da geração de energia hidrelétrica e um aumento da participação termelétrica sobre a capacidade instalada total (de 8,60% em 1998 para 19,05% em 2008). Através do quadro 2, nota-se que a taxa média de expansão da capacidade instalada termelétrica é de 14,84%, contra 4,22% no caso da hidrelétrica⁵.

⁴ Cabe lembrar a existência de uma série de complexas questões tecnológicas, econômicas e políticas que influenciarão e influenciam de forma determinante na constituição deste novo perfil e que, todavia, fogem ao escopo deste trabalho.

⁵ Todavia, é importante destacar a mudança do caráter impositivo do “Plano Decenal”, que torna-se agora um estudo indicativo. Realmente, segundo LA ROVERE (1999), “o planejamento do setor, por parte da SNE/MME e da Eletrobrás, se tornou essencialmente indicativo”.

Quadro2 - Plano de Expansão 1999-2008 - Acréscimo Anual da Capacidade Instalada por Fonte de Geração

Brasil	Dez/98	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
(MW)												
Hidraulica	56052	58353	59472	61683	65392	68607	72355	76098	78769	81749	84709	
Termica	5277	7007	8291	11705	12859	13730	14302	16698	18769	18953	19936	
Total	61329	65360	67763	73388	78251	82337	86657	92796	97538	100702	104645	
Crescimento Anual (MW)												
Hidraulica		2301	1119	2211	3709	3215	3748	3743	2671	2980	2960	
Termica		1730	1284	3414	1154	871	572	2396	2071	184	983	
Total		4031	2403	5625	4863	4086	4320	6139	4742	3164	3943	Média
Taxa de Crescimento Anual (%)												
Hidraulica		4,11%	1,92%	3,72%	6,01%	4,92%	5,46%	5,17%	3,51%	3,78%	3,62%	4,22%
Termica		32,78%	18,32%	41,18%	9,86%	6,77%	4,17%	16,75%	12,40%	0,98%	5,19%	14,84%
Total		6,57%	3,68%	8,30%	6,63%	5,22%	5,25%	7,08%	5,11%	3,24%	3,92%	5,50%

Fonte: Plano de Expansão 1999-2008.

Além disto, no âmbito das termelétricas trataremos especificamente de térmicas a gás natural, pois é sobre este combustível que a médio prazo deverá se concentrar a parcela de geração térmica. Tal fato advém da recém construção do gasoduto Brasil-Bolívia e da realização de um contrato de aquisição de gás do tipo *take or pay*⁶, mudando inclusive as características tradicionais de uma térmica, que pelo custo do combustível maior e custo de construção menor opera apenas no horário de pico ou em períodos hidrológicos desfavoráveis, mas que na atual conjuntura operará de forma contínua, disputando com a hídricas, a entrada no sistema interligado.

1.2. Objetivos:

Os objetivos desta tese são a aplicação de métodos de valoração de econômica do meio ambiente para quantificação dos principais impactos associados à geração de energia elétrica através de hidrelétricas e de termelétricas a gás natural, e o estudo partirá da realização de uma ampla revisão de literatura sobre estes métodos. Os resultados obtidos apresentarão uma validade muito mais qualitativa do que quantitativa dos custos encontrados, uma vez que o enfoque principal do trabalho é o estabelecimento dos passos necessários para a formulação destes custos e a identificação das suas incertezas, muito mais do que uma tentativa de quantificação exata dos custos ambientais envolvidos.

Ainda assim, ao final do trabalho teremos uma base de comparação, ainda que limitada, de alguns dos custos ambientais associados a geração por hidrelétricas e por termelétricas.

Também é objetivo desta tese dar alguns passos nesta concepção de custos, que devem ser levados em conta no processo de gestão, quando das análises custos benefícios para implantação de novos empreendimentos, projetos, programas, planos, etc...

Embora tenha ocorrido uma busca constante ao longo do trabalho para torná-lo o mais abrangente possível, o atual ritmo de evolução das disciplinas sócio-ambientais não nos autoriza grandes pretensões. Assim consideraremos nossa meta atingida se pudermos, com esta colaboração, oferecer subsídios para maior ventilação do assunto, e para uma pequena evolução na contínua busca da sustentabilidade.

1.3.Organização e Delimitação do Estudo:

Buscando os objetivos propostos, organizamos a tese da seguinte forma:

O capítulo 1 faz a apresentação do trabalho, indicando os motivos que levaram a pesquisa, seus objetivos, as justificativas para a escolha do assunto abordado e dos estudos de caso, e finalmente a organização e delimitação do estudo.

O capítulo 2 aborda alguns conceitos básicos da economia do meio ambiente, a importância da valoração, e as metodologias de valoração econômica.

O capítulo 3 apresenta os impactos ambientais da geração elétrica. Descreve todos os impactos ambientais das usinas hidrelétricas e termelétricas em seus ciclos para disponibilização de energia, e define quais destes impactos são os mais representativos. Em seguida trata ainda de algumas particularidades hidrelétricas e termelétricas.

O capítulo 4 propõe a aplicação de algumas das metodologias apresentadas no capítulo 2, para valoração dos principais impactos de hidrelétricas e termelétricas, definidos no capítulo 3.

O capítulo 5 aborda os estudos de caso com a aplicação das metodologias na valoração das hidrelétricas de Simplício e Serra da Mesa e das termelétricas do complexo RioGen – RioGen Merchant. São descritos os dados e o material manipulado para o levantamento destes.

O capítulo 6 apresenta de forma clara e objetiva os resultados dos estudos de caso realizados, faz uma análise crítica dos resultados, relacionando-os à teoria e / ou à

⁶ Ao contratar o volume desejado de gás, o preço a pagar por mês pelo combustível é fixo, independente de ser consumido ou não.

revisão da literatura, apresenta as conclusões e deduções lógicas decorrentes da pesquisa, fundamentada no texto e nos estudos de caso, e apresenta as recomendações para aplicação da pesquisa, e sugestões para o prosseguimento desta.

2. VALORAÇÃO ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE:

2.1. Conceitos Básicos da Economia do Meio Ambiente⁷:

A economia é um disciplina cujo enfoque pode ser baseado em vários paradigmas / escolas de pensamento. As escolas mais freqüentes são a neoclássica, a keynesiana, a institucionalista e a marxista. A escola que se consolidou como dominante no âmbito da microeconomia foi a neoclássica, e quanto utilizamos as ferramentas neoclássicas aplicadas aos problemas do meio ambiente fazemos uso de sua especialidade conhecida como “Economia do Meio Ambiente”⁸.

A análise neoclássica centra sua análise sobre o problema da alocação ótima de recursos, num sistema em que o mercado determina um equilíbrio único e estável, e existe uma situação de concorrência pura e perfeita, na qual um sistema de preços assegura a compatibilidade dos comportamentos dos agentes econômicos, desde que estes procurem o seu interesse pessoal e o façam de maneira racional. Este equilíbrio é ainda um ótimo no sentido paretiano, onde para uma dada repartição de renda, ninguém pode aumentar seus ganhos sem diminuir o dos outros.

Assim, na economia do meio ambiente, a questão ambiental é apreendida em termos de alocação de bens entre agentes em função da preferência destes últimos. Esta, para o tratamento de bens naturais necessita da introdução dos conceitos de recursos naturais, bens públicos e de externalidades.

Recursos naturais (ambientais) ou ativos naturais são a classe de bens que não são produzíveis pelo homem. Estes dividem-se em recursos renováveis e esgotáveis ou não-renováveis. Os renováveis são aqueles cuja inscrição biofísica garante sua regeneração (através dos ciclos biogeoquímicos) ou crescimento (como a biomassa) a um horizonte economicamente significativo. Isto é, são aqueles em que os insumos são repostos pelos ciclos biogeoquímicos e funções ecossistêmicas, permitindo o uso dentro

⁷ Este item foi baseado em TOLMASQUIM 1998.

⁸ Uma análise mais detalhada das escolas e paradigmas pode ser vista em Pearce 1990, capítulo 1.

destes ciclos. São eles o solo, os organismos selvagens e domesticados, as florestas, campos, terras cultivadas, e os ecossistemas marítimos e fluviais que sustentam a pesca. Recursos não renováveis são aqueles cujo uso não pode ser feito nos ritmos naturais, isto é, no tempo que a natureza leva para produzi-los. São eles os minerais e os combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão).

Bens públicos são bens de consumo tipicamente não rivais, de modo que o consumo de um bem por A não impossibilita que B também o consuma, ou seja, todos os membros podem compartilhar simultaneamente dos mesmos benefícios. O problema no caso destes é que, uma vez que estão ao alcance de todos, os consumidores não revelam suas reais preferências mediante lances no mercado, mas tendem a agir como caronas (free riders), sendo necessária uma intervenção para que estes revelem suas reais preferências. Como exemplos destes bens citamos a camada de ozônio, o ar que respiramos, uma bela paisagem, ...

Externalidades são os efeitos do comportamento de pessoas ou empresas no bem-estar de outras pessoas ou empresas, que não se refletem diretamente no mercado, ou ainda, são os efeitos das atividades de produção e consumo que afetam outras empresas ou pessoas, mas que não se refletem diretamente no mercado através do sistema de preços. Estas são positivas quando o comportamento de um indivíduo ou empresa beneficia involuntariamente outros e negativas no caso oposto.

A presença destas externalidades distorce o sistema de incentivos que se constitui o sistema de preços, sendo uma fonte de ineficiência na alocação de recursos naturais e de outros fatores de produção, e na repartição dos bens produzidos (certos bens são produzidos em excesso e outros insuficientemente, certos agentes consomem muito destes bens e outros pouco). A fim de remediar estas deficiências do mercado podemos fazer uso de instrumentos econômicos e de comando e controle. Mas para isto, principalmente no primeiro caso, precisamos quantificar o valor do bem ou serviço proporcionado pela natureza (ou perdido por uma degradação desta base de recursos) não contabilizado (externalidade).

2.2.A Importância da Valoração:

Além da importância maior de valorar para se quantificar o valor do serviço proporcionado pela natureza perdido pela degradação, e se internalizar os custos de degradação da base de recursos no processo econômico, tanto no nível macro quanto no nível microeconômico, existe a questão da gestão dos recursos.

Qualquer que seja a forma de gestão a ser desenvolvida por planejadores de todos os níveis, públicos-governamentais ou não, o gestor terá de equacionar o problema de alocar um orçamento financeiro limitado perante numerosas opções de gastos, relativas a diferentes opções de investimentos ou de consumo. Pior, como o total de gastos previstos normalmente é menor que o orçamento disponível (principalmente em países em desenvolvimento), decide-se um conjunto de opções em detrimento de outros, e assim há necessidade de se ordenar as opções. Para tais situações o gestor normalmente realiza uma Análise Custo-Benefício, priorizando as opção com maior custo-benefício.

Em se tratando de investimentos públicos, seu principal objetivo deve ser a provisão de bens e serviços que aumentem o bem estar das pessoas, assim esta análise além de econômica deve ser sócio-ambiental, pois na medida em que seu meio ambiente ou seus direitos sociais são afetados, o cidadão tem uma perda de bem estar, e sofre um dano sócio-ambiental. Da mesma forma os investimentos governamentais tem que se preocupar com estes custos sócio-ambientais, quer seja para satisfazer o bem estar de um crescente “consumidor verde”, quer seja para atender intervenções governamentais na forma de instrumentos econômicos ou de comando e controle, visando a satisfação das pessoas.

Assim é necessário estimar os custos e benefícios sócio-ambientais, de forma a estes montantes serem comparáveis entre si no tempo, e este é um dos desafios das metodologias de valoração ambiental.

É importante que estes métodos se desenvolvam e se tornem cada vez mais precisos, pois a incompleta incorporação destes custos leva a uma alocação incorreta dos recursos, ao não cumprimento do objetivo dos investimentos públicos de satisfação do bem estar das pessoas, e a uma externalidade negativa, que não considerada no momento do planejamento, pode-se tornar num futuro um passivo ambiental a ser arcado pelo empreendedor, passivo este, que pode até inviabilizar o empreendimento

economicamente. Por outro lado, também é importante que eles incorporem, de forma cada vez mais precisa as externalidades positivas, pois este ganho pode viabilizar empreendimentos que de outra forma não lograriam êxito.

TOLMASQUIM (1999) exemplifica de forma clara estas situações: “no caso da geração térmica a carvão a disposição de cinzas em bacias de estocagem pode levar a problemas estéticos, de ocupação de terras e principalmente de contaminação de solos e de lençóis freáticos, que se não forem eliminados ou mitigados aos padrões legais, se constituem passivos ambientais da usina” e “Um empreendimento hidrelétrico pode ser viabilizado, caso seja incorporado o aumento de bem estar decorrente do uso de uma área de lazer ou de outro ganho social do lago formado”.

Cabe ressaltar que, ainda que seja importante que os métodos de valoração sejam o mais precisos possível, é necessário se chegar a um ótimo de precisão, pesando por um lado os futuros passivos e a inviabilidade de empreendimentos por não contabilização, e por outro o tempo e os custos decorrentes do processo de valoração, de forma a não dificultar o processo de internalização no planejamento do setor.

2.3.As Metodologias de Valoração Econômica:

2.3.1. Instrumentos para priorizar recursos:

Segundo SEROA DA MOTTA (1998) os principais instrumentos utilizados pelo gestor para priorizar a alocação de recursos são: a análise custo-benefício (ACB), a análise custo-utilidade (ACU) e a análise custo-eficiência (ACE).

A análise custo-benefício tem como objetivo comparar os custos e benefícios associados aos impactos das estratégias alternativas de políticas, ao longo do tempo, em termos de seus valores monetários, e é a técnica atualmente mais utilizada. Tal comparação de custos e benefícios permite analisar a viabilidade da ação. É importante ressaltar que neste caso os efeitos dos impactos, são todos unificados através da escala monetária. Existem três opções de indicadores para uma ACB no tempo: o valor presente líquido (VPL), a relação benefício custo (B/C) e a taxa interna de retorno (TIR). Embora todos permitam indicar a viabilidade de uma ação de forma inequívoca, o ordenamento das ações resultantes pode variar de indicador para indicador.

Pelo VPL calcula-se a diferença do valor descontado dos benefícios sobre o valor descontado dos custos. O $VPL \geq 0$ indica a viabilidade e as ações são ordenadas pela magnitude do VPL. Verificamos pela equação a seguir que o ordenamento resultante dependerá basicamente da taxa de desconto (d) e da magnitude das necessidades de investimento que determinam o nível de VPL.

$$VPL = \sum \frac{B_t - C_t}{(1 + d)^t}$$

Pela B/C a viabilidade é condicionada a $B/C \geq 1$ e as ações podem ser ordenadas de acordo com as magnitudes de B/C.

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum b_t / (1 + d)^t}{\sum c_t / (1 + d)^t}$$

Pela TIR a viabilidade será dada pela $TIR \geq d$, mas o ordenamento é realizado apenas pelos valores de TIR, não levando em conta a d . Dependendo da distribuição temporal dos custos e benefícios (por exemplo variações bruscas em períodos distintos) a TIR pode não ser única.

$$\sum \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

A análise custo-utilidade procura integrar critérios econômicos e ecológicos, ao invés de usar uma única medida do valor monetário de um determinado benefício. Assim, os indicadores são calculados para valores econômicos e para critérios ecológicos como insubstituíbilidade, vulnerabilidade, grau de ameaça, representatividade e criticabilidade. Cada indicador tem um peso absoluto e os benefícios das opções (de política, programas ou projetos) são avaliados com ponderações para cada indicador (magnitude). Logo o problema metodológico é a determinação de escalas coerentes e aceitáveis para a definição da importância relativa dos diferentes indicadores (critérios) visando a ponderação destes, e conseqüentemente cada escala definirá uma ordenação de opções diferente. A dificuldade também recai na quantificação do resultado absoluto dos benefícios correspondentes a cada critério para cada opção.

A análise custo-eficiência ordena as opções apenas com base no critério ecológico. Ela considera as várias opções disponíveis para se alcançar uma prioridade pré definida e compara os custos relativos destas em atingir seus objetivos, buscando a

opção que assegura o resultado desejado ao menor custo. Ao contrário das anteriores ela não ordena opções para definir prioridades pois esta é previamente definida.

Alguns autores chamam o conjunto das duas últimas abordagens de análise de multicritério, e temos vários exemplos de utilização desta em Avaliações de Impactos Ambientais, através de metodologias espontâneas (Ad Hoc), check-lists, matrizes de interações (Leopold), redes de interação (Networks - Sorensen), metodologias quantitativas (Batelle), mapas de superposição (overlay mapping), modelos matemáticos de simulação de parâmetros ambientais suas causas e efeitos, etc⁹ ...

No âmbito deste estudo nos concentraremos nas análises custo-benefícios e na mensuração dos valores monetários associados a custos e benefícios ambientais.

2.3.2. O Valor dos Recursos Ambientais:

Visando internalizar no sistema econômico os custos ambientais, bem como os custos de oportunidade por degradação desta base de recursos, devemos identificar o valor econômico destes. Para isto devemos perceber que o valor econômico dos recursos ambientais é derivado de todos os seus atributos, e que estes atributos podem ou não estar associados a um uso, e ainda, no caso do valor de uso, podem ser relativos ao uso pelas gerações atuais ou pelas gerações futuras (em atendimento ao desenvolvimento auto-sustentável).

Assim, didaticamente é usual a desagregação do recurso ambiental em valor de uso e de não uso, e do valor de uso em direto, indireto e de opção.

- O Valor de Uso (VU) é aquele que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental pelo seu uso presente ou pelo seu potencial de uso futuro. Este divide-se em:

- ◆ O Valor de Uso Direto (VUD) é o valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona através do uso direto. Assim, os bens e serviços ambientais são apropriados diretamente da exploração do recurso, e são consumidos hoje. Como exemplos podemos citar o uso para provisão de recursos básicos como alimentos, medicamentos, nutrientes (produção e extração) e turismo (visitação); o uso não-consumptivo como recreação e marketing; e o uso de recursos genéticos de plantas.

⁹ Para maiores detalhes sobre as abordagens ver Moreira (In: MAIA 1993), e MAGRINI (1990).

◆ O Valor de Uso Indireto (VUI) é o valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental quando o benefício do seu uso deriva de funções ecossistêmicas. Assim, os bens e serviços ambientais são gerados de funções ecossistêmicas, apropriados e consumidos indiretamente hoje. Como exemplos podemos citar o fornecimento de suporte para atividades econômicas e o bem estar humano, como a proteção dos corpos d'água, a estocagem e reciclagem de lixo, a manutenção da diversidade genética, o estoque de carbono nas florestas tropicais, e a contenção (controle) da erosão; a provisão de recursos básicos como o oxigênio, a água e os recursos genéticos; e a provisão dos benefícios associados a informação, como o conhecimento científico.

◆ O Valor de Opção (VO) é o valor que os indivíduos estão dispostos a pagar para manterem a opção de um dia fazer uso, de forma direta ou indireta, do recurso ambiental. Assim, são bens e serviços ambientais de uso direto e indireto a serem apropriados e consumidos no futuro. Como exemplos temos a preservação de valores de uso direto e indireto; ou o benefício advindo de medicamentos desenvolvidos com base em propriedades medicinais, ainda não descobertas, de plantas de florestas tropicais.

• O Valor de não uso (VNU), valor intrínseco (VI) ou valor de existência (VE), é aquele que está dissociado do uso (embora represente um consumo ambiental) e deriva de uma posição moral, cultural, ética ou altruística em relação aos direitos de existência de espécies não-humanas ou de preservação de outras riquezas naturais, mesmo que estas não representem uso atual ou futuro para o indivíduo. Como exemplos deste temos o valor da grande mobilização da opinião pública, para salvamento dos ursos panda ou das baleias, mesmo em regiões em que a maioria das pessoas nunca poderá estar ou fazer qualquer uso de sua existência; as florestas no seu valor intrínseco (presente para outros); e os valores culturais, religiosos e históricos.

Alguns autores consideram o valor de uso futuro (opção) como de existência.

Conforme vimos anteriormente, valorar um recurso ambiental consiste em determinar quanto melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas devido a mudanças na quantidade de bens ambientais, seja na apropriação por uso ou não. Logo os métodos de valoração ambiental corresponderão ao seu objetivo na medida que forem capazes de captar estas distintas parcelas de valor. Contudo existe um grau de dificuldade para encontrar preços de mercado (adequados ou não) que reflitam os valores atribuídos aos

recursos ambientais, grau este que varia de valor para valor. Os valores de existência trazem maior dificuldade que os valores de uso, e os de uso indiretos ou de opção, apresentam uma maior dificuldade que os de uso direto. Assim, cada método; dependendo do seu grau de sofisticação (metodológica ou de base de dados), das hipóteses sobre o comportamento dos indivíduos consumidores, e dos efeitos do consumo ambiental em outros setores da economia; apresentará limitações na cobertura destes valores. Tendo em vista que tal balanço será quase sempre pragmático e decidido de forma restrita, cabe ao analista que valora explicitar com exatidão os limites dos valores estimados e o grau de validade de suas mensurações para o fim desejado. (SEROA DA MOTTA, 1998)

2.3.3. As Metodologias de Valoração Econômica Ambiental:

Os métodos de valoração para obtenção de seus objetivos vão quantificar o dano, ou quantificar a variação do bem estar. Assim, é interessante neste ponto apresentar os critérios de quantificação do dano e da variação de bem estar.

2.3.3.1. *A quantificação do dano e a função dose resposta¹⁰:*

A quantificação do dano baseia-se na relação física descrita entre a causa (ou dose – fonte da atividade impactante) e o efeito (ou resposta – mudanças, alterações) de um dano ambiental, para fornecer medidas objetivas dos danos resultantes das várias causas.

Para isto é feito uso das "funções dose-resposta" ou “funções de danos”, que relacionam o nível da atividade impactante (por exemplo, o nível e o tipo de poluentes) com o grau do dano físico a um ativo natural, a um ativo realizado pelo homem (prédios) ou a um ativo inerente ao homem, como o grau de impacto sobre sua saúde (por exemplo, incidência de doenças respiratórias). Para construção destas funções utilizamos dados de estudos de campo (por exemplo, os estudos epidemiológicos que relacionam as doenças provocadas pela variação da concentração dos poluentes) e de procedimentos experimentais controlados.

Determinada a função dose-resposta, é possível, então, estimar a variação do dano em termos da variação de um ativo (natural, realizado pelo homem (prédios) ou

inerente ao homem) e a seguir valora-se o dano ocorrido a partir do preço de mercado do ativo ou de outra técnica.

Cabe ressaltar que muitas vezes a função de dano está intimamente relacionada ao local e condições onde foram obtidos os dados, e assim, uma extrapolação destas relações físicas para o uso em outras áreas, deve ser limitada e cuidadosa, pois esta conduta normalmente traz erros inerentes. E ainda destacar que o estabelecimento de funções dose-resposta de relações ecológicas, normalmente é uma tarefa complexa e imprecisa, com um grande número de variáveis e estudos de campo sofisticados.

2.3.3.2.A quantificação da variação de bem estar e o conceito de excedente do consumidor¹¹:

A quantificação na variação do bem-estar está intimamente ligada ao conceito microeconômico de excedente do consumidor. O excedente do consumidor é a diferença entre o preço que um consumidor estaria disposto a pagar por uma mercadoria e o preço que realmente paga ao adquirir tal mercadoria, ou seja, é o benefício total obtido pelo consumo de um determinado produto, subtraído do custo total de sua aquisição.

Este quantifica o bem estar pois os consumidores adquirem mercadorias porque estas lhes proporcionam bem-estar. Assim, este excedente mede quão maior será o bem-estar das pessoas em conjunto, por poderem adquirir um produto no mercado. Cabe ressaltar que diferentes consumidores atribuem valores diferenciados ao consumo de cada mercadoria e o valor máximo que estariam dispostos a pagar por tais mercadorias também é diferenciado. Logo, para análise de uma determinada população, trabalhamos com o total da preferência desta, ou com uma amostra que estatisticamente se aproxime deste total.

Na teoria econômica, a noção de dano ou benefício, baseada na preferência dos indivíduos (ou do consumidor), se manifesta no mercado através dos conceitos de disposição a pagar (DAP) para evitar uma perda (dano) ou para obter um bem (benefício), e de disposição a receber (DAR) ou a aceitar (DAA) para sofrer uma perda (dano) ou para perder um bem (benefício).

¹⁰ Este item foi baseado em TOLMASQUIM et al., 1999, SALA, 1999, e DIXON, 1984.

¹¹ Este item foi baseado em TOLMASQUIM et al., 1999 e DIXON, 1984.

Se traçarmos uma curva de utilidade marginal média do conjunto consumidores (ver figura 2), relacionando a quantidade de determinado bem ou serviço com a disposição a pagar destes consumidores por este bem, e se marcarmos o preço praticado no mercado para este bem ou serviço, o excedente do consumidor, ou o valor líquido do recurso que usufrui o nosso consumidor, é igual diferença entre a área sob a curva de demanda e a área abaixo do preço praticado no mercado.

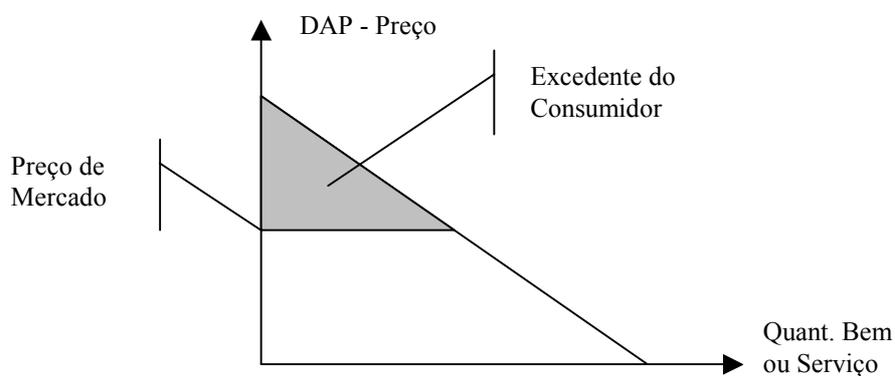


Figura 2

Quando este bem ou serviço sofre um dano (por exemplo o despejo de poluentes) levando a uma menor disposição a pagar pelo consumidor (deslocamento da curva de demanda para esquerda), podemos quantificar o dano ambiental pela perda do excedente do consumidor (ver figura 3).

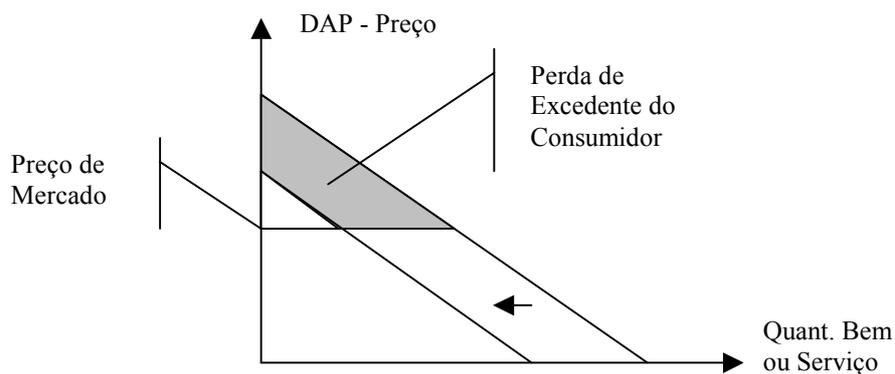


Figura 3

2.3.3.3. Os Métodos de Valoração Econômica:

De forma didática os autores costumam dividir os métodos de valoração econômica em métodos indiretos ou da função de produção, e em métodos indiretos ou da função de demanda (TOLMASQUIM et al., 1999, SEROA DA MOTTA, 1998, e DIXON, 1984).

- Os métodos indiretos são aqueles aplicados quando a produção ou o consumo de um bem ou serviço privado for afetada pela variação da quantidade e/ou qualidade de bens e serviços ambientais, isto é, o recurso ambiental é um insumo ou um substituto do bem ou serviço privado. Como estes efeitos sobre a produção ou consumo podem ser expressos em termos de mudanças na quantidade de bens ou serviços privados comercializáveis, o valor destas mudanças, usando seus preços de mercado, pode ser tomado como medida indireta (preço sombra) dos benefícios ou perdas decorrentes da mudança no recurso ambiental. Cabe ressaltar que os preços de mercado dos produtos e insumos variáveis permanecerão constantes após a mudança na quantidade do produto apenas quando o aumento nestes for pequeno em relação ao seu mercado total, e que somente neste caso, a variação projetada na produção pode ser multiplicada pelos preços de mercado a fim de se obter o seu valor econômico do dano. Caso contrário deve-se estimar a variação temporal destes preços de mercado. A função de produção destes métodos é uma função do tipo $P = f(V,A)$, onde P é o nível de produção, V é um conjunto de insumos formados por bens e serviços privados, e A representa um bem ou serviço ambiental que é utilizado gratuitamente, ou seja seu preço de mercado p_A é zero. Os principais métodos indiretos de valoração são:

- ◆ O método da produtividade marginal,
- ◆ Os métodos de mercado de bens substitutos
 - O método das despesas de reposição,
 - O método das despesas de realocização,
- ◆ O método das despesas de prevenção/controle ou mitigação,
- ◆ O método das despesas de proteção,

- Os métodos diretos são aqueles que estimam diretamente os valores econômicos dos bens ou serviços ambientais com base em funções de demanda para estes recursos derivadas de mercados bens ou serviços privados complementares ao recurso ambiental (A) ou de mercados hipotéticos construídos especificamente para o recurso ambiental

em análise. Estes analisam casos onde o recurso ambiental está associado a produção de um recurso privado, geralmente assumem que as variações na oferta do recurso ambiental não alteram os preços de mercado, e pressupõem que a variação da disponibilidade do recurso ambiental altera a disposição a pagar ou a aceitar dos agentes econômicos em relação ao recurso ou à seu bem privado complementar. Como vimos no item 2.3.3.2 o dano pode ser quantificado pela variação no excedente do consumidor. Assim, identificada a função de demanda D para o recurso ambiental A , o valor econômico de uma variação de A é dado pela variação no excedente do consumidor $\Delta EC = \int_{p_1, p_2} D \delta p$, onde p_1 e p_2 são as medidas de disposição a pagar (ou aceitar) relativas à variação da disponibilidade de A . Os principais métodos diretos de valoração são:

- ◆ Métodos de preferência revelada através de mercados reais ou métodos de bens complementares:
 - Método de preços hedônicos,
 - Método de custos de viagem.
- ◆ Métodos de preferência revelada através de mercados hipotéticos:
 - Método de valoração de contingente.

2.3.3.4. O Método da Produtividade Marginal¹²:

No método da produtividade marginal ou produção sacrificada o efeito avaliado é a produtividade. Dada a função de produção $P = f(V, A)$, o valor do recurso ambiental A é calculado a partir do valor que P assume em função da variação da quantidade de A . Assim, este método pressupõe que o fator de produção V relativo aos insumos de bens e serviços privados é uma constante, e que se conhece (através do mercado) o preço do produto (p_P). O valor econômico do recurso (bem ou serviço) ambiental é dado por:

$$VE_A = p_P \times \frac{\delta P}{\delta A}$$

Demonstrando:

O lucro da produção é dado por: $\pi = P \times p_P - (V \times p_V + A \times p_A)$, temos $p_A = 0$ e $P = f(V, A)$, logo $\pi = f(V, A) \times p_P - V \times p_V$. Considerando V constante, $\frac{\delta \pi}{\delta A} = p_P \times \frac{\delta P}{\delta A}$

¹² Este item foi baseado em TOLMASQUIM et al., 1999, SEROA DA MOTTA, 1998, e DIXON, 1984.

E VE_A é dado pela variação no lucro do usuário.

Uma vez que se conhece o preço do produto, para conhecermos o valor do recurso ambiental precisamos conhecer a relação entre o produto (P) e o recurso ambiental (A). Para verificarmos o efeito do dano físico (decréscimo de A – δA) em um certo nível de produção específico, utilizamos uma função de dano que relaciona o nível de estoque (taxa de extração) ou qualidade (taxa de poluição) do recurso (Q) com o nível de danos físicos ambientais. Assim $A = DR(x_1, x_2, \dots, Q)$ e $\delta A = \delta DR / \delta Q$. Por exemplo o nível de poluição da água (Q) afeta a qualidade da água (A), que afeta a produção pesqueira (P); e o nível de nutrientes no solo (Q) afeta a qualidade do solo (A) que afeta a produção agrícola (P).

Observamos que o método só capta os valores de usos diretos e indiretos relativos a bens e serviços ambientais utilizados na produção.

Como viéses do método poderíamos citar:

- Que como os demais métodos indiretos de valoração, este capta principalmente os valores de uso direto e indireto, subestimando o valor total dos recursos ambientais nos casos onde os valores de opção e existência são significativos,
- Que ao se aplicar o método da produtividade marginal, quando a variação do recurso ambiental A altera os preços, de forma a ocorrer ajustes em outros setores, estes ajustes produzem uma variação no excedente do consumidor de P. O problema é que estes ajustes em outros mercados só podem ser identificados por intermédio de modelos de equilíbrio geral de alta sofisticação estatística e que requerem enorme base de dados,
- Que no caso de alterações significativas no preço de P, o método de produtividade determina valores incorretos de A em termos da variação do bem-estar (pode estar subestimado ou superestimado).

2.3.3.5. Os Métodos de Mercados de Bens Substitutos¹³:

Este método é uma variante do método de produtividade marginal para os casos onde a variação da produção (P), embora afetada pela variação no recurso ambiental (A), não oferece preços observáveis no mercado, ou estes são de difícil mensuração. Os casos típicos são aqueles em que a produção (P) também é um bem ou serviço

¹³ Este item foi baseado em SEROA DA MOTTA, 1998, TOLMASQUIM et al. 1999 e DIXON, 1984.

ambiental consumido gratuitamente, aqueles em que as funções de produção e/ou dose resposta não estão disponíveis, e aqueles que demandam um incomensurável esforço de pesquisa. Como exemplo citamos um decréscimo na qualidade (Q) das praias que leva a um decréscimo de uma amenidade (A) que é um serviço ambiental de recreação cuja cobrança pelo uso inexistente ou é limitada, mas cuja perda ou escassez induz ao uso de outros bens para realizar substituições de A.

Estes métodos pressupõem que o valor do recurso ambiental A é calculado a partir do valor que um bem substituto perfeito (de P ou A) assume em função de variações marginais da quantidade produzida (P) devido à variações no recurso ambiental (A). Ou seja os preços são baseados em mercado de bens substitutos para P e A.

- Substituição de A – Neste caso para manter P constante, uma unidade a menos de A será compensada por uma unidade a mais de S. Assim, $P = f(V, A + S)$, e a variação de A será valorada pelo preço de S (p_S) observável no mercado. Logo esta substituição fará com que os usuários incorram em um custo privado no consumo do bem substituto C_S , que é dado por $C_S = p_S \times \Delta A$, e que na função de lucro é igual ao valor da produtividade marginal de A.

- Substituição de P – Neste caso os indivíduos nas suas funções de utilidade podem encontrar substitutos perfeitos para o produto P que consomem quando sua disponibilidade se altera em função da variação de A. Assim, a função de produção (ou gastos) familiares é dada por $U(P + S, Y_1, \dots, Y_n)$, onde os Y_i são os bens da cesta de consumo familiar, e reduzindo uma unidade de P devido a ΔA , o valor de uma unidade de P será p_S . Logo existirá um C_S positivo na função de gastos do indivíduo equivalente a $p_S \times \Delta P$, e o valor do recurso ambiental será dado por $VE_A = \delta U / \delta A$.

Observamos que o método só capta os valores de usos diretos e indiretos relativos a bens e serviços ambientais utilizados na produção.

Como vieses do método poderíamos citar:

- Que como os demais métodos indiretos de valoração, este capta principalmente os valores de uso direto e indireto, subestimando o valor total dos recursos ambientais nos casos onde os valores de opção e existência são significativos,
- No que diz respeito aos custos de reposição, a validade do resultado encontrado depende da inclusão de todos os custos considerados relevantes e de todos os fatores

envolvidos na reposição de um recurso ambiental, pois a falta de algum fator importante pode prejudicar o resultado do estudo.

Os principais métodos de mercados de bens substitutos são:

2.3.3.5.1. O Método das Despesas de Reposição:

Neste caso o custo privado no consumo de um bem substituto C_S representa os gastos incorridos pelos usuários em bens substitutos para garantir um nível desejado de P ou A. Por exemplo, para substituição de A: os custos de reflorestamento em áreas desmatadas para garantir o nível de produção madeireira, os custos de adubação (fertilizantes) para manter a produtividade agrícola constante, ou os custos de piscinas públicas para garantir atividades de recreação balneária quando as praias estão poluídas. E para substituição de P: os gastos com compra de água tratada ou tratamento que são necessários no caso de poluição de mananciais, os gastos com medicamentos que são necessários para remediar efeitos na saúde causados pela poluição, ou os gastos de reconstrução de áreas urbanas devido a cheias de rios causadas pelo excesso de sedimentação em virtude da erosão do solo.

Assim, as despesas baseiam-se no consumo de um bem privado que representam os gastos incorridos pelo consumidor para repor os ativos produtivos que foram danificados pela poluição ou por um gerenciamento inadequado.

Logo, estes custos podem ser interpretados como um valor mínimo aceitável para medidas que reduzam a poluição ou melhorem as práticas de gerenciamento local, prevenindo o dano ambiental. Assim, esta metodologia é similar aos custos de prevenção, que serão vistos mais adiante, com a diferença que os custos de reposição revelam o verdadeiro custo de reposição de um dano que está ocorrendo, enquanto que os custos de prevenção se referem a danos em potencial, sendo assim uma metodologia subjetiva.

Está implícito que a magnitude do dano deve ser mensurável e que não existem benefícios secundários associados a despesas preventivas.

Se os custos de reposição forem calculados e não forem maiores que o valor do bem produzido danificado, se diz que é economicamente eficiente fazer a reposição. Se os custos de medidas preventivas forem menores que os custos de reposição, adota-se estas como medidas mais econômicas.

Poderíamos definir como etapas do método de custos de reposição:

- Identificação do ativo (bem) danificado;
- Estimativa dos custos para reposição do ativo danificado;
- Verificar se os custos de reposição garantem um nível desejado para o ativo danificado.

Cabe ressaltar que o método de despesas de reposição não busca resgatar o valor de todas espécies animais e vegetais (os recursos naturais em geral) afetadas com a construção do projeto, já que é praticamente impossível em decorrência das complexas relações de animais, plantas, solo, clima e todas as características ecológicas da região. Na verdade, o método do custo de reposição serve somente para restabelecer os valores de uso, pois a existência das espécies está associado com a própria preservação do habitat natural.

2.3.3.5.2. O Método das Despesas de Relocalização:

Este método é uma variante das despesas de reposição. Neste caso o custo privado no consumo de um bem substituto C_S representa os gastos incorridos pelos usuários com relocalização para garantir um nível desejado de P ou A. Assim, as despesas atuais de relocalização de uma atividade física, em decorrência da mudança de qualidade do meio ambiente, são utilizadas para avaliar os benefícios potenciais (e custos associados) de prevenir esta mudança. Por exemplo, o governo da China, para garantir o abastecimento de água potável em Shangai, cujo rio que abastece a cidade tem sido poluído por resíduos de indústrias, navios e de plantas de tratamento de esgoto, dentre as opções de tratamento dos resíduos das plantas industriais e outras que descarregam nos rios, decidiu realocar a entrada de água, rio acima, para tirar vantagem da água limpa para o abastecimento e reduzir os custos de tratamento para obtenção da água potável.

Embora os custos de relocalização e os custos associados a poluição e de iniciativas de controle ambiental sejam muito altos (Banco Mundial estimou em US\$ 160 milhões de dólares), estes custos são considerados menores que os custos envolvidos com a limpeza da corrente de resíduos das plantas industriais.

2.3.3.6. O Método das Despesas de Prevenção/Controle ou Mitigação¹⁴:

Neste método são utilizados para valorar o capital natural os custos incorridos pelos usuários para evitar uma variação de A, isto é, os investimentos necessários para evitar a redução do nível de estoque do capital natural. Por exemplo, quanto as empresas ou famílias deveriam gastar em controle de esgotos para evitar a degradação dos recursos hídricos.

Está implícito que a magnitude do dano potencial deve ser mensurável através de uma função de dano.

É importante notar que o dano ainda não ocorreu. Assume-se que as pessoas podem agir precipitadamente para se proteger dos danos, e as despesas com o controle ou a mitigação destes danos produzirão uma estimativa que reflete um valor mínimo do dano real.

Assim este método analisa de forma direta as atuais despesas para determinar a importância que o indivíduo atribui ao meio ambiente e a impactos à saúde humana, e indiretamente, as despesas para mitigar o dano ambiental.

Como exemplo de aplicação, citamos o estudo realizado para a Bacia da Baía de Guanabara¹⁵, RJ, onde se estimou o benefício total resultante da expansão da oferta de água considerando os gastos com abastecimento incorridos pelas famílias da população da Baixada Fluminense e São Gonçalo a ser beneficiada, e se chegou a um valor de 109,7 milhões de dólares.

Observamos que o valor é subjetivo à estimativa e ao valor do dano em potencial.

Poderíamos definir como etapas do método de despesas de prevenção / controle ou mitigação:

- Identificação dos danos ambientais potenciais,
- Definição das despesas necessárias para se prevenir o possível dano ambiental,
- Definição dos benefícios gerados pela implementação de uma ação.

¹⁴ Este item foi baseado em TOLMASQUIM et al, 1999, SEROA DA MOTTA, 1998, e DIXON, 1984.

¹⁵ Estudo que é encontrado no Relatório de Referência para Solicitação de Empréstimo ao Banco Interamericano de Desenvolvimento, RJ, 1993 para o Programa de Saneamento Básico da Bacia da Baía de Guanabara (Relatório de Projeto 1950 - Banco Interamericano de Desenvolvimento, 1993).

2.3.3.7. O Método das Despesas de Proteção¹⁶:

Este método procura utilizar os comportamentos econômicos que refletem o valor pago para se proteger de algum dano, para valorar a perda no serviço ambiental causada pelo dano. Assim, as despesas de proteção, são aquelas que os indivíduos realizam para se proteger de algum dano ambiental, como por exemplo a poluição, ou para obter algum melhoramento de seu meio ambiente.

Vejam os o exemplo do dano causado pelo ruído. Assume-se que quando os indivíduos investem em equipamentos contra ruídos exteriores (janelas duplas, uso de isolamentos (revestimentos porosos ou de grande massa)) eles escolhem adquirir o dispositivo de proteção se o custo deste for menor que um certo nível de incômodo permitido pelo indivíduo. Isto é se $C < N - N'$, onde, C corresponde ao custo de isolamento acústico, N corresponde a avaliação subjetiva do incômodo causado pelo ruído, na ausência de isolamento acústico, e N' corresponde a avaliação subjetiva do ruído após isolamento acústico. Se é feita a escolha do equipamento de proteção, as vantagens do isolamento acústico serão superiores ao custo do equipamento. Assume-se que o custo de isolamento acústico C representa a quantia gasta para se proteger de um incômodo.

Observamos que valor também é subjetivo ao níveis de incômodo individuais.

Poderíamos definir como etapas do método de despesas de proteção:

- Identificação do dano ambiental,
- Definição das despesas necessárias com equipamentos de proteção do dano ambiental desde que $\Delta C \leq \Delta N - \Delta N'$ (Δ representa pequenas variações).

Como viéses do método poderíamos citar:

- Que como os demais métodos indiretos de valoração, este capta principalmente os valores de uso direto e indireto, subestimando o valor total dos recursos ambientais nos casos onde os valores de opção e existência são significativos,
- Que a despesa de proteção não é a única opção possível para se fugir do dano ambiental (No caso do ruído poder-se-ia optar por mudar de casa),

¹⁶ Este item foi baseado em TOLMASQUIM et al, 1999, SEROA DA MOTTA, 1998, e DIXON, 1984.

- O equipamento de proteção normalmente restringe-se a uma área específica, não protegendo incômodos em um exterior,
- Este só pode ser aplicado nos casos onde existem possibilidades de proteção individual, e nem sempre é possível a proteção individual de outras formas de poluição ou deterioração do meio.

2.3.3.8. Os Métodos de preferência revelada através de mercados reais ou métodos de bens complementares¹⁷:

Estes utilizam mercados de bens e serviços privados complementares a bens e serviços ambientais para mensuração do valor de uso de um recurso ambiental. Entende-se como bens perfeitamente complementares aqueles consumidos em proporções constantes entre si.

Estes partem do princípio que uma abordagem que faça uso destes mercados de bens privados complementares, normalmente gera informações sobre a demanda do bem ou serviço ambiental relacionado a estes (se um bem é complementar perfeito a outro, seu valor será zero, se a demanda pelo outro for zero). Generalizando, se um bem composto privado V tem uma oferta perfeitamente inelástica, de forma que a oferta não varia quando o preço varia; se a demanda por um bem ou serviço ambiental A complementar a V aumenta, então também aumentará a demanda por V; e como a oferta é perfeitamente inelástica, todo aumento de oferta pode ser capitalizado usando o preço de V (alterações de A alteram preço e não quantidade).

2.3.3.8.1. O Método de Preços Hedônicos:

Este método baseia-se na identificação de atributos ou características de um bem composto privado que sejam complementares a bens ou serviços ambientais, e a partir desta identificação mensura-se o preço do atributo ambiental usando o preço de mercado do bem ou serviço privado, isolando os outros atributos (os não complementares). A abordagem mais utilizada neste método é a valoração do recurso ambiental associada aos preços de propriedade ou de terrenos. No item 2.3.3.10.3 veremos uma abordagem usando salários diferenciais.

¹⁷ Este item foi baseado em SEROA DA MOTTA, 1998, TOLMASQUIM et al, 1999, e DIXON, 1984.

Cabe ressaltar que nem sempre é simples esta identificação.

Estima-se o valor dos atributos de um ou vários bens e serviços ambientais implícitos no valor de um bem privado (preço de uma propriedade), através de uma função hedônica por $P_i = F(a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, A_i)$, onde P_i é o preço do bem ou serviço privado i (propriedade i), a_i são os atributos (complementares ou não) do bem ou serviço privado i (propriedade i), e A_i corresponde ao nível do bem ou serviço ambiental A do bem ou serviço privado i (propriedade i). Partindo da função hedônica, o preço do recurso ambiental (p_A) é dado por $p_A = \delta F / \delta A$, sendo assim uma medida da disposição a pagar por uma variação de A .

Logo, este método capta valores de uso direto, indireto e de opção.

Na aplicação do método, de forma a não se obter resultados distorcidos, é importante que o atributo ambiental seja definido com cuidado de forma a especificar as variações na disponibilidade dos bens ou serviços ambientais. Por exemplo, indivíduos podem optar por uma certa propriedade devido a sua qualidade do ar ou proximidade de uma praia, mas certamente, não o farão com base em medidas de poluentes isolados e, sim por uma percepção conjunta da qualidade ambiental gerada por um certo nível de serviços ambientais.

Numa abordagem baseada no preço de propriedade ou dos terrenos, assumimos que distintas propriedades de mesmas características (tamanho, cômodos, serviços, modo de execução, materiais e acabamento, ...) apresentam diferentes preços de mercado em função de seus atributos ambientais (acesso a um sítio natural, qualidade do ar, ...) e que as diferenças de preços das propriedades devido à diferença de nível dos atributos ambientais devem refletir a disposição a pagar por variações destes atributos (usufruir do sítio ambiental, não ter poluição, ...).

Assim, o método requer informações dos vários atributos que influenciam o preço da propriedade, como as próprias características da propriedade (tamanho, grau de conservação, benfeitorias, etc.), as facilidades de serviços (comerciais, transporte e educação), a qualidade do local (vizinhança, taxa de criminalidade, etc.) e também informações sócio-econômicas dos proprietários sobre uma amostra representativa das propriedades da região. Dessa forma, as estimativas de uma pesquisa realizada para um local não devem ser transferidas para outro. Citamos como principal fonte de dados para obtenção destes as empresas de crédito imobiliário e imobiliárias.

O método pressupõe ainda que os compradores devem possuir informações suficientes do mercado de propriedades para avaliar todas as opções de compra em todo território. Esta alternativa não será tão restritiva em estudos locais, porém não se pode dizer a mesma coisa para estudos com cobertura espacial ampla.

Assim, a aproximação dos preços de propriedades é recomendável nos casos onde existe alta correlação entre a variável ambiental e o preço da propriedade, onde é possível avaliar se todos os atributos que influenciam no preço de equilíbrio do mercado de propriedades podem ser captados, e onde as hipóteses adotadas para o cálculo do excedente do consumidor baseadas nas medidas estimadas do preço marginal do atributo ambiental, podem ser realistas.

As etapas necessárias para se estimar o valor econômico de uma variação de um recurso ambiental via método do preço hedônico são:

- A identificação dos atributos que influenciam o preço da propriedade,
- A verificação se os compradores conhecem o mercado de propriedades para avaliar as opções de compra,
- A determinação da disposição a pagar (preço da propriedade) em função dos atributos escolhidos, e
- A determinação do valor econômico da disponibilidade do recurso ambiental via excedente do consumidor.

Como viéses do método poderíamos citar:

- Este requer um levantamento de dados minuciosos, como informações sobre os atributos,
- O fato de admitir fraca complementaridade, ou seja, se a demanda pelo atributo ambiental for zero quando a demanda por propriedades com este atributo é zero, elimina a possibilidade de captar valores de existência ou de não uso,
- Este método é de difícil utilização pois os preços de bens ou serviços privados como propriedades normalmente não internalizam as futuras melhoras (ou piores) ambientais, sendo possível que os preços de propriedade sejam subestimados por razões fiscais para reduzir os valores de impostos que porventura podem incidir sobre as propriedades (uma alternativa neste caso seria o uso de valores de aluguel ao invés de preços de transferência de propriedade),

- A medida estimada de disposição a pagar p_E valora apenas a disposição a pagar de variações marginais do atributo ambiental em um ponto observável de A , para valorar variações não marginais é preciso transformar f ou utilizar outro estágio de regressão estatística, complicando ainda mais a análise,
- Se o atributo ambiental não for bem definido de forma a identificar o bem ou serviço ambiental a ser valorado, pode-se obter resultados distorcidos, e no caso de nível de concentração de poluentes, esta percepção de qualidade por parte do mercado pode não ser trivial,
- Existem dificuldades econométricas com as estimações da funções hedônicas principalmente em relação a multicolinearidade de atributos (inclusive os ambientais) e a identificação da forma da curva.

2.3.3.8.2. *O Método de Custo de Viagem:*

O método do custo de viagem estima a demanda por um bem ou serviço ambiental (sítio natural) A com base na demanda de atividades recreacionais associadas complementarmente ao uso de A . A curva da demanda destas atividades se baseia nos custos incorridos pelos usuários para acessá-lo (custos de viagem), e estes podem ser considerados como a máxima disposição a pagar do usuário pelos serviços ambientais. Quanto mais longe um sítio ambiental, os visitantes fazem um menor número de visitas a este (menor uso) e espera-se um maior custo de viagem associado.

A identificação do uso efetivo de locais de recreação pode ser mensurado normalmente durante visitas de turistas que são entrevistados na área de lazer, e os questionários devem focar informações referentes ao local de estada do visitante, distância viajada, cidade onde o visitante tem residência fixa, frequência e custo de viagem das visitas, além de outros dados socio-econômicos como renda per capita, distribuição etária, perfil de escolaridade, ... Em seguida os locais de origem são separados por zonas, as informações são estatisticamente analisadas e agregadas por amostras populacional de determinada zona (amostra), e estima-se a taxa de visitação T_i (por exemplo, visitantes por mil habitantes por ano) de cada zona através de uma função dos dados de custo médio de viagem de cada zona (CV) e de outras variáveis sócio-econômicas S_i (sua inclusão reduz o efeito de outros fatores que explicam a visita a o

local) da zona em questão. Assim, chega-se a uma função $T_i = f(CV, S_1, S_2, \dots, S_n)$, que multiplicada pela população total da zona nos dá o número total de visitantes por zona.

Derivando a função f em relação ao custo de viagem de cada zona, obtemos uma função f' que nos dá uma medida da redução (ou aumento) do número de visitantes quando aumenta (ou diminui) o custo de viagem, ou seja, uma função f' que nos dá a curva de demanda de determinada zona pelas atividades recreacionais do sítio ambiental, ou a disposição a pagar por visitas (ver figura 4). Logo, a área abaixo da curva f' mede o excedente do consumidor em relação a A , isto é, $\Delta EC = \int_{p, CV} f' \delta CV$.

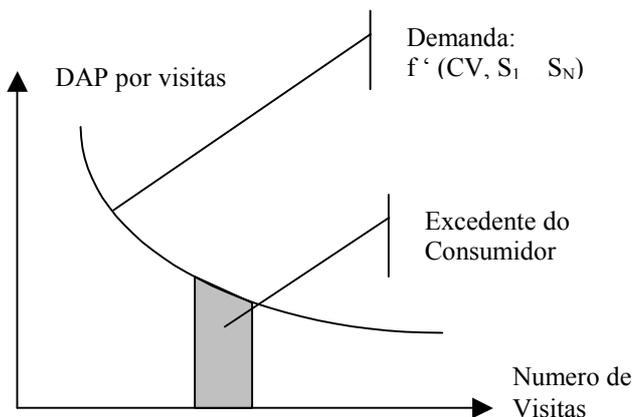


Figura 4

Também podemos utilizar este método para estimativa de receitas relativas a visitação do parque (sítio ambiental) e do uso de suas instalações comerciais (taxa de entrada, consumo interno, ...)

Este método capta valores de uso direto e indireto associados a um determinado sítio natural, não considerando os valores de opção e existência daquelas pessoas que apesar de atribuírem estes valores ao sítio em questão, não o freqüentam.

As etapas necessárias para se estimar o valor econômico pelo método são:

- 1^A ETAPA: Determinação do número de visitantes (V_i). Para estimar os custos de viagem incorridos pelos turistas (visitantes) dos parques (sítios naturais), é necessário realizar uma análise da freqüência de visitação ao parque. Nesse sentido, o número total de visitantes (V_i) pode ser mensurado usando um questionário durante os dias da semana e finais de semana. A amostra de entrevistados pode ser dividida em grupos (ou zonas), segundo os diferentes locais ou distritos administrativos, onde o entrevistado é residente, a fim de determinar o ponto (lugar) de origem dos visitantes. Podemos escolher uma amostra representativa de cada localidade,

- 2^A ETAPA: Determinação da taxa de visitação ao parque (T_i). Conhecendo o número de pessoas que reside nas diferentes zonas (regiões), podemos obter a taxa de visitação ao parque, ou seja, a razão entre o número de visitantes e a população residente na região. A taxa de visitação indica que percentagem de pessoas de cada região visita o parque a cada período (ano, por exemplo). (Caso esta taxa seja superior a 100% quer dizer que, cada pessoa na região visita mais de uma vez o parque por ano). $(T_i/1000/\text{ano}) = [(Z_i / n) \cdot N \cdot 1000] / P$, onde $T_i / 1000$ corresponde a taxa de visitação para cada 1000 pessoas da região em um ano, Z_i corresponde ao número de visitantes da zona i ; n corresponde ao tamanho da amostra de entrevistados, N corresponde ao número de visitantes por ano, e P corresponde a população total da zona (região) i ,

- 3^A ETAPA: Determinação do custo total de viagem (CV). O custo total de viagem (CV) é dividido didaticamente em dois outros custos: o custo de viagem gasto com transporte ao local de visitação (C_{LOCOM}) e o custo do tempo gasto na viagem (C_T). O custo de transporte (C_{LOCOM}) para um visitante que vai ao parque é dado pelos gastos em locomoção ao local de visitação de acordo com o meio de transporte realizado incluindo os gastos inerentes a esta viagem (combustível, hospedagem, etc.). E uma vez que cada meio de transporte representa um tempo distinto de viagem, o custo do tempo gasto na viagem (C_T) tem que ser computado. Este é determinado pela estimativa do número de horas requeridas para viajar até o parque - horas de viagem; esta variável depende das condições da estrada que leva ao parque. O valor deste tempo é geralmente calculado com base numa proporção do salário do visitante. Portanto, o custo do tempo gasto na viagem (C_T) é o produto do valor do tempo de viagem do visitante - C_{OPORT} - e o número de horas requeridas para uma viagem até o parque (horas de viagem), ou seja: $C_T = C_{\text{OPORT}} \cdot \text{horas de viagem}$,

- 4^A ETAPA: *Determinação da curva de demanda por visitação para as atividades recreacionais do sítio natural.* A construção da função de demanda por visitação, segundo cada região, utilizará diferentes valores para a taxa de admissão¹⁸ ao parque. Na verdade, a função de demanda é determinada de forma a medir como a taxa de visitação varia quando se altera a taxa de admissão do parque. A curva de demanda agregada do parque pode ser derivada através da soma horizontal de curvas estimadas

¹⁸ A taxa de admissão é somada ao custo total de viagem que, por sua vez, incorpora os gastos monetários incorridos na viagem e valor monetário do tempo de viagem dispendido

para cada região. Produziremos assim, uma *curva de demanda de visitação para um sítio natural* a partir da taxa de visitação prevista e a disposição a pagar por uma taxa de admissão ao parque,

- 5^a ETAPA: *Valor Recreacional do Parque*. Variando a taxa de admissão ao parque, são encontrados diversos pontos da curva de demanda. A área sob esta curva representa todo o excedente do consumidor, que reflete o valor de uso ou valor recreacional do parque baseado na análise de custo de viagem. Portanto, o valor à atividade recreacional pode ser estimado através do cálculo da relação entre a variação na taxa de visita e o aumento na taxa de admissão ao parque.

Como viéses do método poderíamos citar:

- este não considera os valores de opção e existência daquelas pessoas que, apesar de atribuírem estes valores ao sítio em questão, não o freqüentam,
- este se mostra uma aproximação muito prática em locais onde há o controle do fluxo turístico, mas em locais onde não há o reconhecimento do potencial turístico de áreas naturais (caso do Brasil – só se controla a visitação a unidades de conservação) esta se torna extremamente trabalhosa, custosa e demorada (equipe especializada para a preparação e aplicação dos questionários)
- No caso de ocorrerem variações da oferta dos serviços de A, deve-se calcular uma função f para o sítio natural que apresenta distintos serviços ambientais que possam ser utilizados pelos visitantes do sítio,
- A curva de demanda por classes de renda pode sofrer alterações para permitir a agregação de diferentes excedentes do consumidor, o que requer esforços de pesquisa e de transformações econométricas,
- A valoração do tempo também é tarefa bastante sofisticada. Um indicador que pode ser utilizado é a renda per capita – salário do visitante - para o custo de oportunidade do lazer. No entanto, surgem distorções no mercado de trabalho que indicam que os salários podem superavaliar o custo do lazer e afetar consideravelmente as estimativas deste método,
- Existe a possibilidade do visitante aproveitar a viagem para visitar outros locais, o que demandaria ajustes necessários.

2.3.3.9. O Método de Valoração de Contingente:

O método de valoração contingente (MVC) procura mensurar os valores de DAA e DAP com base em mercados hipotéticos. A simulação destes mercados hipotéticos é realizada em pesquisas de campo, com questionários que indagam ao entrevistado sua disposição a pagar ou a aceitar (sua valoração contingente) em face das alterações quantitativas ou qualitativas na disponibilidade de bens ou serviços (recursos) ambientais (A).

A grande vantagem deste método sobre os outros é a possibilidade de captar os valores de existência, e poder ser aplicado em um espectro de bens ambientais mais amplo (como a preservação de espécies, a estética ambiental, os fenômenos históricos, a diversidade genética, ...). Sua maior limitação está relacionada a captação de valores ambientais que os entrevistados não entendem ou desconhecem. Ressaltamos também que a aplicação deste não é trivial, e envolve custos de pesquisa elevados.

Para a simulação dos mercados hipotéticos são utilizados (simulados) cenários, com características o mais próximo possível das existentes no mundo real, a fim de que as preferências reveladas nas pesquisas reflitam decisões que os agentes realmente tomariam se existisse um mercado para o bem ambiental descrito no cenário hipotético. Estas preferências em atendimento a teoria econômica, são expressas em valores monetários, que são obtidos através das respostas sobre quanto os indivíduos estariam dispostos a pagar para garantir a melhoria de bem-estar, ou quanto estariam dispostos a aceitar em compensação para suportar uma perda de bem-estar.

Este método consiste em dois estágios subdivididos em etapas:

- 1º Estágio: Definição da pesquisa:
 - ◆ 1ª Etapa: Determinar o objeto da valoração ou o recurso ambiental a ser valorado, e a parcela do valor econômico que se está medindo. Para isto, temos que especificar o bem ou serviço ambiental e qual é a alteração de disponibilidade (em termos de quantidade e qualidade) do recurso que está sendo questionada, de forma que entrevistado entenda com clareza e precisão. Assim, é preciso definir quem utiliza o recurso, quem deve pagar ou ser compensado, e o método de pagamento,
 - ◆ 2ª Etapa: Determinar um dos mecanismos de valoração, isto é, escolher entre a disposição a pagar (DAP) e a disposição a aceitar (DAA). Esta escolha deve ser criteriosa pois cada estimativa pode resultar em valores bem diferentes (a DAA pode ser

muito superior a DAP, quando são escassas as possibilidades de substituição diante da redução da disponibilidade do recurso, logo a DAP é mais conservadora),

◆ 3ª Etapa: Definir o instrumento de pagamento (ou compensação) para realização da medida de DAP ou DAA. Citamos como exemplo para DAP, novos impostos, tarifas ou taxas, cobrança direta pelo uso, doação para um fundo de caridade (ou para uma ONG); e para DAA, novos subsídios ou aumento no nível dos existentes, compensações financeiras diretas, aumento de patrimônio via obras ou reposição. Para escolha, cada caso deve ser estudado de forma a ser adotado o instrumento mais neutro, ou seja, o de maior possibilidade de ocorrer ou ser respeitado,

◆ 4ª Etapa: Escolher a forma de eliciação (resposta) para valorar a disposição a pagar ou aceitar. As principais opções são:

➤ Artificio de jogos de ofertas ou de leilão (bidding games). Cria-se uma situação hipotética, se da ao entrevistado a opção de escolher se está de acordo ou não com uma quantia estabelecida, ou se julga exorbitante ou insatisfatória. Repete-se o experimento até chegar a um consenso entre entrevistado e entrevistador. Esta forma é a mais recomendável quando se trata de populações com baixa renda,

➤ Lances livres ou forma aberta (open-ended). O entrevistado é questionado sobre a sua disposição a pagar (ou aceitar) por determinada alteração no suprimento de um bem ou serviço ambiental (quanto você está disposto a pagar...?). Esta forma de pergunta produz um variável contínua de lances (bids) e o valor esperado da DAP (ou DAA) pode ser estimado diretamente por técnicas econométricas de regressão,

➤ Cartões ou opções de pagamento. Sucessivas perguntas vão sendo feitas conforme a resposta dada pelo entrevistado. Se o entrevistado aceita uma quantia inicial, o valor perguntado vai aumentando; caso rejeite a quantia inicial, os valores vão diminuindo,

➤ Referendo (escolha dicotômica). Questiona-se ao entrevistado: "você está disposto a pagar um valor X?" A quantia X é sistematicamente modificada ao longo da amostra para avaliar a frequência das respostas dadas diante de diferentes níveis de lances. Esta forma é atualmente muito utilizada, e é preferível em relação as demais apresentadas pois permite uma menor ocorrência de lances estratégicos dos entrevistados que procuram defender seus interesses ou se beneficiarem da provisão

gratuita do bem. Logo, este se aproxima da verdadeira experiência de mercado, pois neste geralmente são definidas as ações de consumo frente a um preço previamente definido¹⁹,

➤ Referendo com acompanhamento (mais de um valor). Utiliza-se uma outra forma mais sofisticada de escolha dicotômica. Conforme a resposta dada à pergunta inicial, é acrescida uma segunda pergunta interativa. Por exemplo, se o entrevistado responde que está disposto a pagar um valor X, será perguntado em seguida se pagaria um valor 2X, ou outros valores. Entretanto, este processo iterativo apresenta uma tendência a induzir respostas na medida em que o entrevistado pode se sentir obrigado aceitar os valores subsequentes ou negá-los por admitir que o primeiro valor é o mais correto (viés do ponto de partida). Esta técnica é de extrema valia para a análise econômica do meio ambiente, principalmente porque é a única que tem potencialmente a capacidade de captar o valor de existência do bem ambiental,

◆ 5ª Etapa: A construção da função de demanda (D) permite captar as medidas de disposição a pagar (ou aceitar) dos indivíduos relativas às variações de disponibilidade do recurso ambiental. Com base nestas medidas, estima-se as variações do nível de bem-estar pelo excesso de satisfação que o consumidor obtém quando paga um preço (ou nada paga) pelo recurso que estaria disposto a pagar. Estas variações são chamadas de variações do excedente do consumidor frente às variações de disponibilidade do recurso ambiental. O valor econômico deste recurso será dado pelo excedente do consumidor frente as disponibilidades do recurso ambiental.

- 2º Estágio: Definição do Questionário:

◆ 6ª Etapa: Definir a amostra a ser entrevistada. Esta deve obedecer a certos procedimentos estatísticos padrões que garantam sua representatividade. Por exemplo, para análise de um país, devemos considerar cidades que sejam representativas em termos econômicos, políticos e sociais para o país. Segundo CUMMINGS (1986) um indivíduo da cidade deve ter uma certa familiaridade com o recurso ambiental que está

¹⁹ Esta aproximação produz um indicador discreto de lances e o valor esperado da medida monetária (DAP ou DAA) tem que ser estimado de forma mais complexa com base em uma função de distribuição das respostas "sim" e sua correlação com uma função de utilidade indireta, geralmente assumida como logística.

sendo valorado, logo, grandes cidades podem ser escolhidas porque suas populações geralmente têm mais acesso as informações sobre os problemas ambientais, através da mídia (televisão, rádio ou jornal),

◆ 7ª Etapa: Caracterizar como será feita a entrevista, isto é, a forma com que será aplicado o questionário. Recomenda-se que as entrevistas sejam pessoais, e que ocorra uma fiel compreensão do questionário e de suas respostas. Existem vários tipos de questionários: um que consiste em uma lista de questões com uma seqüência pré-determinada e padrão para todos os entrevistados, outro tipo onde as questões não são previamente definidas, porém existe um série de tópicos (assuntos) definidos para a realização das perguntas, e um terceiro onde não existe uma ordem nem uma lista específica de perguntas. Os dados podem ser coletados através de pesquisas domiciliares (mais recomendável, demorado e oneroso), com o uso do telefone (menor custo e maior acesso a algumas classes, mas a amostra é limitada aos detentores de telefone, as perguntas tem que Ter um menor número de opções) ou pelo correio (baixo retorno dos questionários),

◆ 8ª Etapa: Determinar o conteúdo das informações que devem ser prestadas no questionário de forma a transferir, realisticamente, a magnitude das alterações de disponibilidade do recurso ambiental em valoração. Pode haver várias formas de apresentação no questionário, desde um texto lido pelo entrevistador até ao uso de fotos e desenhos ilustrativos das alterações. É importante que o questionário tenha no máximo 30 questões, e tenha três seções (não necessariamente nesta ordem). Uma sobre dados sócio-econômicos e demográficos dos entrevistados, do tipo sexo, idade, ocupação, grau de instrução, renda, número de pessoas que moram na casa, e o número do telefone do entrevistado (para checar as informações dadas). Uma com informações sobre o conhecimento dos entrevistados a respeito da questão ambiental a fim de estabelecer uma relação entre seu conhecimento e a disposição a pagar (ou aceitar) pelos impactos ambientais (por exemplo, no Setor Elétrico, se as pessoas estão cientes dos diferentes impactos ambientais provenientes de cada tipo de geração elétrica, se conhecem as causas, os impactos do Setor e as possíveis ações a fim de eliminar ou mitigar estes impactos). E uma terceira definindo a disposição a pagar (ou aceitar), por exemplo, vinculado a escolha de uma forma de geração elétrica, estaria um aumento da tarifa de eletricidade relacionado com o custo de degradação, e é questionado se ele está disposto

a pagar por tal impacto; ou ainda, o entrevistado pode decidir entre as formas de geração elétrica e colocar valores sobre os impactos ambientais provenientes.

2.3.3.9.1. Validade e confiabilidade do método:

Como validade do método de valoração de contingente entende-se o grau de veracidade dos resultados da pesquisa de valoração contingente, isto é em que grau os resultados se aproximam do verdadeiro valor do bem investigado. Há três categorias de testes de validade em pesquisas de valoração contingente: do conteúdo, do critério e do construtor.

- **Validade do Conteúdo.** Esta afere a DAP estimada correspondente ao objeto em questão. As especificidades que envolvem grande parte dos bens ambientais tornam a avaliação da validade do conteúdo bastante subjetiva. Não existe uma regra predeterminada para a verificação se num particular questionário de valoração contingente as perguntas certas foram formuladas da maneira apropriada e se a DAP realmente expressa o quanto o entrevistado pagaria pelo bem ambiental, caso existisse um mercado para ele,
- **Validade do Critério.** Esta compara-se a DAP obtida pela pesquisa (DAP hipotética) e a "verdadeira" (DAP real), a fim de demonstrar que a DAP hipotética tem validade,
- **Validade do Construtor.** Esta consiste em verificar se o valor obtido com a valoração contingenciada está correlacionado com os valores obtidos por outros métodos para o mesmo objeto.

Já confiabilidade analisa a consistência das estimativas, relacionando-se com a estatística e estando associada ao grau em que a variância das respostas de DAP pode ser atribuído ao erro aleatório. Isto é quando menos aleatória for a amostra, menor será o grau de confiabilidade. Logo validade e confiabilidade não são sinônimos e pode ocorrer das estimativas serem consistentes, mas sujeita a presença de viéses e não válidas.

2.3.3.9.2. Viéses do método:

Existem vários tipo de viéses que afetam a confiabilidade do método de valoração contingente. É importante o conhecimento destes, de forma a minimizá-los

através do perfil do questionário e da amostra. Estes ocorrem quando os entrevistados não apresentam sua verdadeira DAP (ou DAA), ou quando o questionário induz a determinadas respostas ou quando há compreensão equivocada dos cenários apresentados. Como vieses do método poderíamos citar:

- **Viés Estratégico.** Este viés está relacionado à percepção do entrevistado quanto à verdadeira cobrança pelo bem ou serviço ambiental que se está oferecendo em função da sua DAP. Se o entrevistado acha que tem que pagar o valor a que se comprometeu com a pesquisa, poderá responder valores abaixo de sua verdadeira DAP. Isto se deve ao fato do entrevistado concluir que os valores apresentados pelos outros consumidores serão suficientes para garantir o suprimento do bem, tendo assim um comportamento de "free rider". O mesmo problema de credibilidade na cobrança apresenta-se quando o entrevistado acha que o valor de sua DAP não será de fato cobrado mas que influenciará na decisão sobre a oferta do bem, apresentando, então, valores acima do que estaria de fato disposto a pagar,

- **Viés Hipotético.** Devido ao MVC usar mercados hipotéticos, podem ser gerados valores que não correspondem a reais preferências individuais tendo em vista que se tratam de simulações. No entanto, de acordo com Pearce, D. et all. (1994), encontram-se valores muito próximos entre a DAP de mercados hipotéticos e as simulações de mercado onde há transações reais em dinheiro. O mesmo não ocorre com a DAA, cujos testes revelaram uma maior diferença entre DAA hipotética e DAA real. Uma possível explicação para tal fato, seria a pouca experiência dos entrevistados com mecanismos de compensação por reduções em seu padrão de bem-estar. Recomenda-se, para minimização do viés hipotético, a utilização sempre que possível de DAP e não de DAA, além da construção de cenários que inspirem credibilidade,

- **Viés da Parte-Todo (Embedding-Bias).** Este viés pode ser verificado quando o somatório da DAP para cada bem ou serviço ambiental ofertado supera a DAP para a totalidade destes mesmos bens e serviços quando ofertados em conjunto. Os entrevistados podem superestimar sua DAP ao considerar que estejam resolvendo problemas ambientais globais (todo) e não somente problemas ambientais específicos (parte), do ponto de vista geográfico (geographic part-whole bias), de benefício (benefit part-whole bias) ou de abrangência institucional (policy package part-whole bias). Tal comportamento decorre do fato de que questões ambientais estão ligadas

sentimentalmente às pessoas, sejam por crenças religiosas, sejam por posturas morais ou filosóficas. Logo, a pesquisa possui a limitação de somente fornecer resultados confiáveis para populações, cuja faixa de renda permite despesas com preocupações desta natureza. Assim, o MCV é freqüentemente acusado de ser um método direcionado aos ricos,

- Viés da Informação. A forma de apresentação e o nível de precisão da informação afetam as respostas de DAP e DAA dos cenários hipotéticos,

- Viés do Entrevistado e do Entrevistador. Na entrevista direta, o entrevistado pode sentir-se compelido a oferecer uma DAP maior em razão da presença física do entrevistador. Assim, recomenda-se a utilização de entrevistadores profissionais que por treinamento e experiência podem se apresentar de forma neutra e oferecem ao entrevistado alternativas de respostas previamente preparadas,

- Viés do Veículo de Pagamento. Este viés pode ocorrer em razão da escolha do veículo de pagamento. Por exemplo, os indivíduos podem preferir pagar uma taxa X para entrar em um parque a um aumento X em impostos. A alternativa é escolher uma forma de pagamento que tenha semelhança com sistemas utilizados em situações reais,

- Viés do Ponto Inicial ou do "ancoramento". Este viés está associado ao uso do método referendo por intermédio do uso de cartões de pagamento, situação em que o entrevistado escolhe um lance entre vários apresentados numa escala de valores dada. Neste caso pode ocorrer o "ancoramento" (vinculação a priori) da resposta à escala sugerida no cartão. Normalmente, a apresentação dos valores pelos questionários tende a induzir o entrevistado a optar pelo primeiro valor apresentado, considerado-o como o valor "correto". Para minimizar este viés, há que se estimar da forma mais precisa possível os pontos máximos e mínimos da DAP ou DAA de forma tal que o menor lance apresentado seja aquele que será aceito por todos e o maior seja rejeitado por todos,

- Viés da Obediência (ou caridade) - Os indivíduos tendem a manifestar sua intenção em pagar por algo que consideram justo ou correto, embora não se disponham a pagar por algo que lhes seja cobrado. Uma forma de contornar este viés é forçar a assinatura de um termo de compromisso ou outro documento que o faça crer na efetividade da cobrança,

- Viés da Subaditividade - Este resulta de pesquisas com MVC que apontam valores de DAP para serviços ambientais estimados em conjunto apresentando um valor total inferior a soma de suas valorações em separado por serviço. Ressaltamos que este viés não está relacionado com qualquer procedimento inadequado de pesquisa, mas decorre das possibilidades de substituição entre os serviços,

- Viés da seqüência de agregação Este é observado quando a medida de DAP ou DAA de um certo bem ou serviço varia se mensurada antes ou depois de outras medidas de outros bens ou serviços que podem ser seus substitutos. Para minimizá-lo se deve definir uma seqüência de mensuração de acordo com a possibilidade de ocorrência, ou explicitar que distintos recursos ambientais substitutos continuarão em disponibilidade.

2.3.3.10. Os Métodos de Valoração Aplicados ao Valor da Vida:

A questão da valoração da vida humana, de doenças, ou de dias afastados, por exposição à poluição ou a outro resultado de uma degradação ambiental é uma questão muito delicada e controversa, principalmente por questões éticas e morais. Assim, ocorre um certo desconforto em ditar valores ou fórmulas para o cálculo destes valores. Neste sentido, é importante ressaltar que na valoração da vida humana se trabalha com o valor da vida estatística, e não com o valor da vida de um dado indivíduo. O valor da vida estatística é o valor relacionado a uma pequena mudança nos riscos associados a um membro desconhecido de um grande grupo de pessoas morrendo. E dar o valor monetário a uma mudança incremental no risco de mortalidade, doença ou dano face a um grande grupo é algo que a sociedade tem que tratar rotineiramente em atividades de seguro, de segurança do trabalho (risco de acidente), de planos de saúde, de análise de riscos, de previdência social, de planos de incêndio, de planos de emergência, etc...

Para o uso destes métodos é interessante conhecer os conceitos de morbidade e de mortalidade. Morbidade ou Morbidez é a expressão do número de pessoas enfermas ou de casos de doença em relação a população onde ocorre, e Mortalidade ou Taxa de Mortalidade é a relação entre o número de mortes (em um ano) e o número total de habitantes. Mede-se o número de mortes para cada 1.000 habitantes de uma determinada população. Quando esta população é de indivíduos até um ano, chamamos de Mortalidade Infantil. CARVALHO (1981)

Segundo PEARCE (1998, In SERÔA da MOTA 1998), a avaliação para uma mudança no risco que ameaça a vida e a saúde é dada “pela soma dos valores que um indivíduo em risco associa a sua saúde e as suas chances de vida; que os outros indivíduos estariam dispostos a pagar para evitar o risco daquele indivíduo; e os custos que a sociedade incorre e de outro modo não incorreria se aquele indivíduo não sofresse os efeitos do risco em questão”.

Uma vez estimada a disposição a pagar por uma mudança no risco de morte em alguma atividade, pode-se encontrar o valor da vida estatística pela relação $DAP \div \text{Variação do Risco}$, lembrando que a DAP está associada a região do indivíduo, e a Δ Risco a atividade exercida por ele.

Como aplicação dos métodos para valoração da vida, citamos²⁰:

2.3.3.10.1. O método de custo de doença:

O método do custo de doença é um caso especial do método de custos de reposição, onde os gastos incorridos em bens substitutos são para evitar uma alteração no estado de saúde. Por exemplo, os gastos com medicamentos que são necessários para remediar efeitos na saúde causados pela poluição são utilizadas para valorar a perda do bem ou serviço ambiental causado pela poluição. Neste método os custos estão relacionados a morbidade, e se faz uso de uma função dose-resposta para relacionar o impacto ou perda do recurso natural (bem / serviço) com o efeito sobre a saúde.

Os custos a serem contabilizados incluem qualquer gastos resultantes da doença, tais como custos para médicos, visitas ou internações em hospitais, medicamentos, ..., bem como os dias de trabalho perdidos resultantes da enfermidade.

O método de custo de doença despreza os efeitos das preferências individuais por saúde versus doença, para os quais se pode ter uma disposição a pagar. Assume tratamentos de saúde individuais como exógenos e não reconhece que indivíduos podem se comprometer com ações defensivas (tais como vacinas contra gripe ou outras imunizações, sistemas de filtração de água ou de ar (despesas preventivas)) ou arcarem com os custos para reduzir os riscos de doença. E ainda, exclui perdas fora do mercado associadas com a doença, tais como dor ou sofrimento para o indivíduo ou outros envolvidos, e restrições em atividades fora do mercado de trabalho formal.

Poderíamos citar ainda a dificuldade de se isolar os efeitos da poluição de outros fatores do estado geral da população exposta tais como hábitos alimentares, tabagismo, alcoolismo e outros.

Este método não tem impactos de longo prazo, assim doenças crônicas ou de longo termo ficam subdimensionadas.

Este método é normalmente empregado para análise de projetos de abastecimento de água, disposição resíduos sólidos, e de controle de poluição do ar e da água. Como guia geral para escolha de projetos para os quais se pode aplicar o método temos o seguinte enquadramento:

- Uma relação direta de causa e efeito pode ser estabelecida e a etiologia (causa) da doença é claramente identificável,
- A doença não tem efeitos crônicos ou tratamento de longo prazo,
- Uma precisa estimativa do valor econômico dos gastos em cuidados médicos é viável.

Uma vez que o método dos custos de doença não contabiliza perdas fora do mercado associadas com a doença, tais como dor ou sofrimento para o indivíduo ou outros envolvidos, os gastos preventivos e restrições em atividades fora do mercado de trabalho formal, a disposição a pagar dos indivíduos para diminuir o risco é maior que o custo de doença valorado. Esta relação $DAP \div CD$ foi estudada por ROWE (1996) fazendo uma comparação entre estas duas estimativas calculadas em estudos dos EUA, e os valores variam de 1,3 a 2,4; sendo recomendado 2 para efeitos adversos a saúde de câncer (SERÔA DA MOTA, 1998).

2.3.3.10.2. O método de capital humano:

O método do capital humano é um caso especial do método de produtividade marginal, relacionado aos conceitos de mortalidade e morbidade. Este também utiliza uma função dose resposta, associando a poluição, ou perda de um bem ou serviço ambiental, a uma perda de produtividade, só que neste caso a perda na produtividade do capital humano é mensurada.

²⁰ Este item foi baseado em DIXON, 1984.

Esta é uma análise posterior ao fato (ex-post), onde se valora a perda do recurso ambiental pelo valor presente da perda dos rendimentos de mercado que eram produzidos pelo falecido (ou afastado temporário).

Este método de aproximação tem alguns problemas, pois ele sugere que o valor da vida de ricos é maior que a da de pobres (indiretamente que o valor da vida em países ricos é maior que nos países pobres), que o valor da vida de trabalhadores do mercado informal, e dos desempregados é nulo, e que o valor dos subempregados é baixíssimo. Segundo este temos ainda um menor valor associado a vida dos jovens, pois se considera que os custos de educação antes da entrada no mercado de trabalho, devem ser descontados. E ainda são excluídos as possibilidades que uma pessoa pode fazer na forma de cuidados preventivos de saúde, e outros valores fora do mercado, como a dor e o sofrimento.

Na verdade este método produz um valor aproximado da perda de produção associada a uma vida em particular, e existe um consenso de que este valor não pode ser usado para estimar o valor social de redução do risco de vida, podendo ser apenas para o estabelecimento de valores ex-post de pagamentos (seguro) relacionados a vida de um indivíduo em particular.

Para o cálculo da produção sacrificada dos anos de vida perdidos, SERÔA DA MOTA e MENDES (1995, In SEROA DA MOTA 1998) fazem uso da teoria do capital humana, admitem por hipótese que o valor de uma vida para a sociedade equivale ao valor presente da produção futura que seria gerada pelo indivíduo (VPPF), e utilizam a expressão:

$$VVE \Leftrightarrow VPPF_i = \sum_{j=i+1}^{\infty} \{ [(P_{j,i})_1 \times (P_{j,i})_2 \times (P_{j,i})_3] \times Y_i \times [(1 + g)/(1 + r)]^{j-i} \}$$

Onde:

- $(P_{j,i})_1$ é a probabilidade que a pessoa com idade i esteja viva na idade j ,
- $(P_{j,i})_2$ é a probabilidade que a pessoa com idade i esteja na força de trabalho na idade j ,
- $(P_{j,i})_3$ é a probabilidade que a pessoa com idade i esteja empregada na idade j ,
- g é a taxa de crescimento da vida per capita,
- Y_i é a renda ou a produção esperada da pessoa na idade i , e
- R é a taxa de desconto.

2.3.3.10.3. O método de salários diferenciais:

O método de salários diferenciais é uma outra forma de aplicação do método de preços hedônicos, similar à aproximação de preços de propriedade (ou terra). Este usa as diferenças de salários associados a empregos com diferentes graus de risco de contrair doença para obter os valores incrementais dos riscos de mortalidade ou de morbidade. A teoria é que trabalhadores recebem um prêmio ou compensação pelo risco inerente a suas profissões (insalubridade e periculosidade), e que esta informação serve para estimar o valor dos indivíduos da atividade em adquirir doenças ou ter mortes prematuras.

Para definição destas diferenças de salários são contabilizadas muitas variáveis, incluindo as características individuais (da pessoa exposta), as características do emprego, e os riscos de morte e à saúde associados ao emprego. Este é o método utilizado para estimar o valor associado a uma vida estatística ou para quantificar o valor implícito de morbidade reduzida.

Está implícito o uso desta técnica uma competitividade no mercado de trabalho, uma possibilidade de mobilidade de emprego, e que sejam uniformes as informações sobre o grau de risco a que se está exposto e sobre as medidas de proteção e controle. Assim, este não é usado em salários definidos arbitrariamente ou destorcidos, e em casos de falta de mobilidade, com desemprego ou subemprego (característicos de países em desenvolvimento).

Ainda existem neste outros problemas análogos a aproximação com preços de propriedade, como a dificuldade de se isolar o real impacto associado a determinado risco nas taxas do salário; como a dificuldade de se comparar e atribuir valores justos a diferentes tipos de risco; e como os efeitos da informação diferenciada ou incompleta.

2.3.3.10.4. O método de valoração de contingente para vida:

O método é uma aplicação do método de contingente onde se verifica a disposição a pagar (ou aceitar) da sociedade para reduzir a probabilidade de morte ou reduzir o risco de morte prematura, ou a disposição a aceitar quando o impacto negativo (doença ou morte) já tenha ocorrido. Esta é feita com base em um cenário hipotético onde o pesquisador fornece as informações necessárias para que o indivíduo revele sua disposição a pagar.

Este possui as mesmas limitações do método de valoração de contingente, como a variação de renda a pagar dependendo da renda do indivíduo.

2.3.3.11. Principais Objeções e Obstáculos da Aplicação das Metodologias de Valoração:

Como principais objeções e obstáculos da aplicação das metodologias temos (TOLMASQUIM, 1998):

- Obstáculos práticos:
 - ◆ A complexidade de certos métodos,
 - ◆ A falta de dados de base,
 - ◆ E as incertezas devidas às características inerentes às técnicas,
- Objeções filosóficas. O fato de se atribuir um valor monetário a bens não comerciais como a fauna, a flora, e as amenidades, ou mesmo a vida humana, suscita oposição, por parte de alguns pesquisadores, de ordem ética e filosófica. Outras objeções se dirigem à incompatibilidade entre o processo econômico e a realidade ecológica, e aos problemas dos efeitos de irreversibilidade e das gerações futuras.
- Obstáculos políticos. A existência de incertezas, imprecisões, e de intervalos de estimativas faz com que os analistas tenham a todo instante de optar entre um e outro valor, ou entre uma e outra variável a ser considerada. Assim, corre-se o risco de que a complexidade, as incertezas, e os julgamentos de valores implícitos acabem em escolhas arbitrárias ou puramente políticas. Neste caso, sob a cobertura de uma técnica de boa qualidade, a análise custo-benefício poderia servir como uma cortina ao arbítrio.

3. IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS À GERAÇÃO ELÉTRICA:

Este capítulo busca levantar os principais impactos ambientais relacionados com a geração de energia elétrica por hidrelétricas e por termelétricas a gás natural.

3.1. Conceitos Básicos Relacionados a Impactos Ambientais:

Em um contexto abrangente, podemos classificar os impactos ambientais em dois grandes grupos (CLEMENTE, 1993 e JUCHEM, 1993):

- Nos naturais, compreendendo os fenômenos da própria Natureza sobre o Meio Ambiente, como terremotos, inundações, incêndios naturais, vulcões ativos, tufões, ...

- E nos antrópicos, compreendendo os fenômenos decorrentes da ação do homem sobre a Natureza. Estes correspondem aos impactos provenientes de atividades de produção e consumo que modificam o Meio Ambiente, como a implantação de indústrias, os projetos de urbanização, a construção de usinas elétricas, o uso de agrotóxicos e os veículos automotores.

Assim, fica claro que existe uma degradação da qualidade ambiental independente da ação antrópica, mas na medida inicia-se a ação antrópica, e os ciclos naturais são rompidos, temos como resultado um novo ritmo de degradação muito mais forte que o anterior. A figura 5 nos mostra esta análise graficamente.

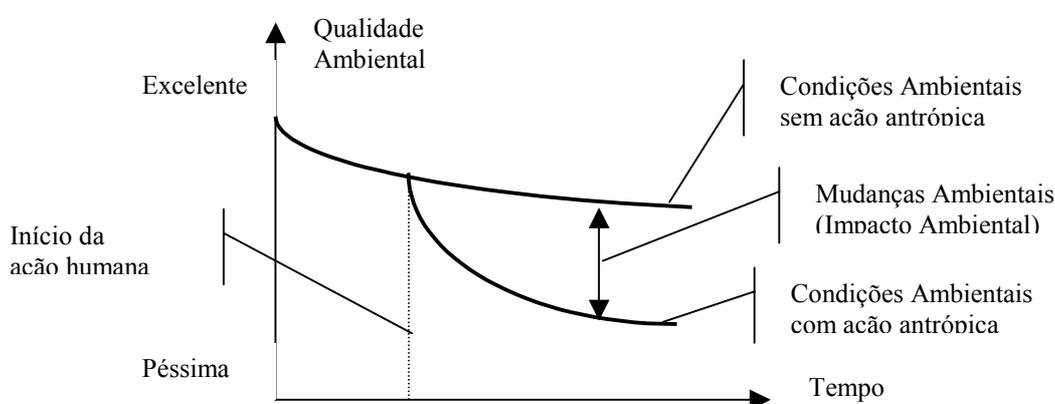


Figura 5.

Porém, a nível legal, aqui no Brasil e em outros países, não se considera como impactos ambientais os impactos naturais. De fato, a Resolução CONAMA 001/86 define impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria e energia, resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais”.

Esta resolução CONAMA e os outros principais instrumentos legais relativos a impacto ambiental de interesse do setor elétrico, encontram-se relacionados no Anexo 1.

Por outro lado, ainda se pode conceituar impacto ambiental, como parte de uma relação de causa e efeito, isto é, como a diferença entre as condições ambientais que

existirão com a implantação de um projeto proposto, e as condições ambientais que existiriam sem essa ação (DIEFY, 1975. In: MAIA 1993).

A determinação e classificação dos impactos ambientais não é uma tarefa simples pois estes variam segundo diversos elementos como tempo, extensão, duração, ... Para explicitar esta complexidade, utilizaremos o quadro desenvolvido por ROHDE (1988. In: MAIA 1993) para caracterizar os impactos.

Quadro 3 – Características dos Impactos Ambientais

Elementos dos Impactos	Possibilidades
Desencadeamento	Imediato, diferenciado, escalonado
Freqüência ou temporalidade	Contínuo, descontínua, época do ano
Extensão	Pontual, extensivo, linear, espacial
Reversibilidade	Reversível/temporário, irreversível/permanente
Duração	Até 1 ano, de 1 a 10 anos, de 10 a 50 anos
Magnitude (escala)	Grande, média, pequena
Importância	Importante, moderada, fraca, desprezível (significação local)
Sentido	Positivo, negativo
Origem	Direta (efeitos primários), indireta (efeitos secundários, terciários, ...)
Acumulação	Linear, quadrática, exponencial
Sinergia	Presente, ausente
Distribuição dos ônus / benefícios	Socializados, privatizados

Para explicar algumas das classificações acima explicitadas, utilizaremos definições baseadas em MAGRINI (1990):

- Impactos diretos e indiretos. O impacto ambiental direto ou primário consiste na alteração de determinado aspecto ambiental por ação direta do homem. Este normalmente é de mais fácil identificação. Como exemplos temos os desgastes impostos aos recursos utilizados, os efeitos sobre empregos gerados, ... O impacto ambiental indireto ou secundário é aquele que decorre do anterior. Como exemplo temos o crescimento demográfico resultante do assentamento da população atraída pelo projeto,
- Impactos de longo e curto prazo. O impacto ambiental de curto prazo é aquele que ocorre logo após a realização da ação, podendo desaparecer em seguida. Como exemplo citamos a produção de ruído e poeira na fase de construção de um projeto, ... O impacto ambiental de longo prazo é aquele que ocorre depois de um certo tempo da realização da ação. Como exemplo citamos a modificação do regime de rios, a

incidência de doenças respiratórias causadas pela inalação de poluentes por períodos prolongados, ...

- Impactos cumulativos e sinérgicos. Impactos cumulativos são aqueles cujos efeitos se somam no meio ambiente. Impactos ambientais sinérgicos são aqueles cujos efeitos se somam no meio ambiente é o efeito final é, por efeitos de sinergia, pior que a soma dos efeitos individuais.

- Impactos ambientais reversíveis e irreversíveis. Reversíveis são aqueles onde é possível a reversibilidade das alterações provocadas sobre o meio. Os irreversíveis são aqueles em que ocorre o oposto.

Para contabilizar estes impactos visando a tomada de decisão sobre a viabilidade de projetos, planos, e políticas, utilizamos as Avaliações de Impacto Ambiental. Segundo MOREIRA (1990. In: MAIA 1993) Avaliação de Impacto Ambiental é “um instrumento de política ambiental, formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta (projeto, programa, plano ou política) e de suas alternativas; de forma que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e por outros por eles considerados. Além disto, os procedimentos devem garantir a adoção de medidas de proteção do meio ambiente determinadas, no caso de decisão sobre a implantação do projeto”.

Segundo MAGRINI (1990, baseado em WESTMAN 1985) a avaliação de impactos ambientais tem sido operada normalmente em três fases:

- Identificação dos Impactos Ambientais. Esta é uma atividade objetiva de identificação, que apresenta como dificuldades a delimitação espaço-temporal dos impactos, e o estabelecimento de um padrão comum de mensuração, uma vez que os efeitos possuem natureza diferenciada,

- Predição dos Impactos Ambientais. Esta também apresenta limitações vinculadas a previsão do comportamento de sistemas tão complexos quanto os ecossistemas. Para realizar esta etapa são utilizados os métodos:

- ◆ Estudos de casos, que permitam extrapolar os efeitos de uma ação similar sobre o mesmo ecossistema ou outro ecossistema semelhante,

- ◆ Modelos conceituais ou quantitativos, que efetuem previsões das interações do(s) ecossistema(s),

- ◆ Bioensaios de estudos de microcosmo, que simulem os efeitos das perturbações sobre os componentes dos ecossistemas sob condições controladas;
 - ◆ Estudos de perturbações de campo, que evidenciem respostas de parcela da área proposta para o projeto, às perturbações experimentais,
 - ◆ Considerações teóricas, que propiciem a predição dos efeitos a partir da teoria ecológica vigente.
- Avaliação. Nesta fase valora-se cada um dos efeitos identificados e preditos, o que torna esta fase do processo um dos pontos mais críticos. Para realização desta etapa são utilizadas as análises definidas no item 2.3.1 – instrumentos para priorizar recursos (ACB, ACU e ACE, ou multicritério). Sendo que mais uma vez ressaltamos que nos deteremos aqui nas chamadas análises custo-benefício.

3.2. Análise dos Impactos Ambientais dos Empreendimentos de Geração Elétrica:

Uma vez que podemos gerar energia elétrica de várias formas e sob várias situações, existe uma grande variedade de fatores condicionantes que são importantes na avaliação dos impactos associados a geração elétrica, e posterior valoração. Dependendo da especificação destes obteremos impactos completamente diferentes. Assim, para avaliação dos efeitos de um determinado projeto de geração, devemos considerar e definir de forma clara:

- A localização da planta de geração,
- A localização das atividades de suporte,
- As tecnologias utilizadas,
- O tipo de combustível utilizado, e
- A fonte e composição do combustível usado.

Segundo a Comissão Européia (EC 1995), outro aspecto a ser considerado na avaliação e valoração dos impactos é sob que atividade ou parte do processo focaremos nossa análise. É comum para alguns projetos de geração de eletricidade a análise ser focada somente na operação da planta de geração. Contudo para realizarmos uma completa avaliação dos danos ao longo do processo, devemos contabilizar todos os potenciais efeitos do ciclo do combustível, utilizando a aproximação conhecida como análise do ciclo do combustível (ciclo de vida). Esta análise passa por uma série de outras atividades além daquelas diretamente relacionadas a operação da planta de

geração. De uma forma geral para todos os tipos de geração poderíamos definir estas atividades ou estágios do ciclo de combustível como:

- Produção dos materiais de construção,
- Transporte dos materiais de construção,
- Construção da planta de geração,
- Procura por combustível (prospecção e exploração),
- Extração do combustível (operação da plataforma ou mina),
- Processamento do combustível,
- Transporte do combustível,
- Transporte do pessoal,
- Geração dos resíduos e sub-produtos (resíduos reutilizáveis em algum lugar),
- Eventual tratamento dos resíduos,
- Remoção da planta ao final do seu tempo de vida,
- Restauração dos locais após o fechamento.

Definido a localização da planta de geração e das atividades de suporte, as tecnologias utilizadas, o tipo de combustível utilizado, a fonte e composição do combustível usado, e identificados os vários estágios do ciclo do combustível, partimos para as etapas de identificação e quantificação dos impactos.

Visando a realização destas, inicialmente identificaremos ou responsáveis ou causadores dos impactos, e os impactos potenciais relacionados a estes. Define-se (EC 1995) como causador pelo impacto qualquer coisa que é ou pode ser capaz de causar um impacto de qualquer tipo, e de um modo geral estes podem ser categorizados por: resíduos sólidos, resíduos líquidos, poluentes gasosos e particulados, acidentes de trabalho, exposição ocupacional a substâncias perigosas, ruído, calor, presença de atividade humana (causando por exemplo dano visual) e outros (como por exemplo exposição a campos eletromagnéticos). Identificados os causadores e os impactos, priorizaremos os impactos de forma a analisar apenas aqueles que afetam prioritariamente o projeto. A seguir, quantificamos os causadores, quantificamos os impactos (relacionando estes aos causadores através de funções dose-resposta) e valoramos estes impactos quantificados (descrevendo as limitações e incertezas).

A análise do ciclo de combustíveis para hidrelétricas é muito diferente daquela feita para termelétricas que utilizam combustíveis fósseis, sendo inclusive mais

adequado naquele caso a denominação de análise de ciclo de vida, em virtude da água não poder ser classificada como combustível. Nas termelétricas os impactos estão predominantemente ligados as emissões atmosféricas, e devido a modularidade dos processos, podemos para vários casos utilizar funções dose-resposta desenvolvidas em estudos prévios para estimar os impactos de novos projetos, que tenham o mesmo tipo de combustível, e mesmas tecnologias de transporte, beneficiamento e geração. Já no caso das hidrelétricas, a maior parte dos danos não se relaciona com emissões atmosféricas, mas com impactos diretos sobre os ecossistemas terrestre e aquático, como por exemplo, alterações no fluxo do rio, a criação de uma barragem, a disposição em aterros dos resíduos da construção, ... Os impactos resultantes estão intimamente relacionados as características dos locais de implantação das atividades, ficando muito difícil a construção de funções dose-resposta gerais. Além disto, um único impacto pode ser resultado de vários causadores (responsáveis), nem sempre sendo possível isolar a parte do impacto causada por determinado causador para desenvolver uma função dose-resposta.

3.3. Impactos Ambientais Associados a Hidrelétricas:

No caso do “combustível” água (hidrelétricas), uma vez que este é disponibilizado de forma natural através do ciclo d’água com o uso da energia do sol, poderíamos apontar como atividades ou estágios do ciclo de vida (EC, 1995):

- A geração de eletricidade,
- A transmissão.

No processo de geração de energia elétrica, a energia potencial da água armazenada no reservatório é transformada em energia cinética e energia de pressão dinâmica pela passagem da água pelos condutos forçados. Ao fazer o acionamento da turbina, essa energia é convertida em energia mecânica, por sua vez transmitida ao eixo gerador. Neste, a energia mecânica é transformada em energia elétrica, a qual passa por uma subestação elevadora de tensão, sendo então injetada no sistema de transmissão que a fará chegar aos centros consumidores.

Existem impactos associados as fases de construção e a operação de ambos os estágios. Apresentaremos estes no quadro 4, assim como os causadores e os receptores,

e ainda priorizaremos estes pelo grau de alteração dos mesmos nos níveis alto, médio e baixo.

Quadro 4 – Impactos do ciclo de vida de hidrelétricas.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
1 – Geração de eletricidade			
A – Durante à construção			
Abertura de acessos e tráfego de máquinas	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Baixo
		Acidentes	Baixo
		Efeitos à saúde das emissões aéreas	Baixo
	Qualidade do ar	Emissões dos motores dos veículos	Baixo
	Mudança do Clima (Efeito Estufa) – CO ₂	Emissões dos motores dos veículos	Baixo
	Vida Selvagem	Perturbação pelo ruído	Baixo
	Florestas	Aumento dos acessos a áreas de florestas	Médio
		Perda de futura produção	Médio
Transporte com helicópteros	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Baixo
		Efeitos à saúde das emissões aéreas	Faltam dados para classificar
	Vida Selvagem	Perturbação pelo ruído	Faltam dados para classificar
Locais de empréstimo e depósito de resíduos de rocha e de obra	Público em geral	Redução temporária do valor recreacional pela alteração na estética	Baixo
	Agricultura	Perda temporária de terras agricultáveis	Alto
	Florestas	Perda temporária no crescimento das florestas	Baixo
	Ecosistemas terrestres	Perda de habitat	Faltam dados para classificar
Acidentes pela construção	Trabalhadores	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Sobrecarga na infra-estrutura pré-existente	Público em geral	Sobrecarga na infra-estrutura pré-existente (saúde, saneamento, educação, segurança)	Médio

Fonte: Elaboração própria baseado em EC 1995, COMASE 1994, MÜLLER 1996, BANCO DO NORDESTE 1999 e LA ROVERE 1999

Quadro 4 – Impactos do ciclo de vida de hidrelétricas.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
B – Durante à operação:			
Alteração do fluxo de água de lóxico para lântico pelo barramento e atenuação dos picos de cheias e vazantes com aumento do tempo de residência da água no reservatório	Peixes e fauna aquática	Perda de habitat	Alto
	Vegetação	Perda de habitat	Médio
	Fauna terrestre e alada	Perda de habitat	Médio
	Vida selvagem	Perda de habitat	Médio
	Qualidade da água	Eutrofização ²¹ (com proliferação de algas, macrófitas flutuantes e produção de odor e sabor) / Acidificação	Médio ²²
		Estratificação do meio aquático em níveis de temperatura, luz e por sólidos em suspensão/depositados	Baixo
	Agricultura	Perda de áreas de cultura pela variação nas margens e no nível do lençol freático	Baixo
		Perda de fonte para irrigação	Alto
	Público em geral	Efeitos estético-culturais como perda de cachoeiras e outros sítios	Alto
		Perda de áreas para atividades recreacionais de pesca, banho, caminhada, esqui e caça.	Alto
		Perda nos usos múltiplos do recurso hídrico: geração, controle de cheias, irrigação, abastecimento pela sedimentação e assoreamento do reservatório	Alto
		Efeitos à saúde pela criação de condições propícias aos vetores de doenças de veiculação hídrica (caramujos, mosquitos, baixas condições sanitárias, ...) ²³	Alto
		Mudanças no clima local ²⁴	Desprezível
Navegação	Variações nos cursos navegáveis ²⁵	Alto	

Fonte: Elaboração própria baseado em EC 1995, COMASE 1994, MÜLLER 1996, BANCO DO NORDESTE 1999 e LA ROVERE 1999

²¹ A eutrofização é ocasionada pelo nível excessivo de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) no corpo d'água, ocasionando crescimento excessivo de plantas aquáticas, distúrbios com insetos, maus odores (SO₂), mortandade de peixes, e toxicidade de algas (cianofíceas).

²² No original (EC 1995) constava como baixa, mas nas condições de clima tropical este tipo impacto apresenta um grau mais elevado.

²³ Os caramujos causam esquistosomose; os insetos, febre amarela, malária, leishmaniose, dengue, filariose, chagas e oncocerose; e a baixa higiene, cólera, tifo, disenterias e parasitas.

²⁴ Ocorrem formação de neblinas alterando a insolação, evaporação menor que a de florestas tropicais (contudo aumenta a umidade relativa em regiões secas), aumento dos ventos com a eliminação de obstáculos, e variações na média de temperatura em regiões de vales.

²⁵ Reservatórios regulam as cheias e vazantes, ampliando a área de navegação, mas por outro lado a estrutura da barragem (sem eclusa) impede à navegação em áreas que antes de sua construção poderiam ser navegáveis.

Quadro 4 – Impactos do ciclo de vida de hidrelétricas.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade	
Barragem / Reservatório	Agricultura	Perda de terras agricultáveis pelo alagamento e pela retenção de sedimentos	Alto	
	Floresta	Perda de produção futura pelo alagamento e pela retenção de sedimentos	Alto	
	Outras atividades do setor primário (pecuária, etc...)	Perdas de outras atividades do setor primário pelo alagamento	Alto	
	Atividades do setor secundário (indústria)	Perdas de atividades do setor secundário	Baixo	
	Atividades do setor terciário (comércio e serviços)	Perdas de atividades do setor terciário	Baixo	
	Fauna terrestre e alada	Perda de habitat	Alto	
	Fauna aquática	Perda de habitat	Alto	
	Biodiversidade	Perda de biodiversidade e de material genético	Alto	
	Público em geral		Perda de habitat (moradia e infraestrutura) e relocação da população local	Alto
			Variação de áreas para atividades recreacionais	Médio
			Mudanças no clima local	Desprezível
			Sismicidade induzida ²⁶	Baixo
			Efeitos à saúde pelo aumento da concentração de mercúrio nos peixes ²⁷	Não provado
	Mudança do Clima (Efeito Estufa) – Metano e CO ₂	Emissões da biomassa alagada e da matéria que passa a ser depositada devido a alteração do fluxo causada pelo barramento	Médio ²⁸	
Recursos minerais	Perda de recursos minerais	Alto		
Recursos culturais e arqueológicos	Perda de recursos culturais e arqueológicos (objetos e construções, modos de vida ...) ²⁹	Alto		
Acidentes pela operação da usina	Trabalhadores	Lesões leves	Médio	
		Lesões graves	Alto	
		Morte	Alto	

Fonte: Elaboração própria baseado em EC 1995, COMASE 1994, MÜLLER 1996, BANCO DO NORDESTE 1999 e LA ROVERE 1999

²⁶ Os sismos não são atribuídos ao peso d'água ou à estrutura da barragem, mas são resultado do aumento da pressão hidrostática produzida pela ação da água infiltrada (poro-pressão) que diminui a resistência das rochas e reativa falhas geológicas pré-existentes.

²⁷ O mercúrio é oriundo das atividades de mineração, e ainda não se chegou a uma relação de causa-efeito com o alagamento.

²⁸ No original (EC 1995) constava como não provado, mas dadas as evidências de medições atuais, arbitramos médio, pois dependendo da biomassa alagada e da matéria que passa a ser depositada pela alteração no fluxo esta emissão pode ter efeito equivalente ao das térmicas (Ex. UHE Balbina).

²⁹ No Brasil temos estas perdas associadas principalmente a povos indígenas e às populações locais.

Quadro 4 – Impactos do ciclo de vida de hidrelétricas.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
Ruptura na barragem	Público em geral	Lesões leves	Baixo
		Lesões graves	Baixo
		Morte	Baixo
	Infra-estrutura	Danos a rodovias, edificações, ...	Baixo
1 – Transmissão			
A – Durante à construção			
Transporte com helicópteros	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Baixo
		Efeitos à saúde das emissões aéreas	Faltam dados para classificar
	Vida Selvagem	Perturbação pelo ruído	Faltam dados para classificar
Acidentes pela construção	Trabalhadores	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Sobrecarga na infra-estrutura pré-existente	Público em geral	Sobrecarga na infra-estrutura pré-existente (saúde, saneamento, educação, segurança)	Médio
B – Durante à operação (alguns desde a construção)			
Presença física das linhas	Florestas	Perda de produção futura	Médio
	Público em geral	Perda do valor pela alteração na estética	Médio
	Pássaros	Lesões e morte	Médio
Campos eletromagnéticos	Público em geral	Câncer	Não provado
	Fauna e Flora	Efeitos biológicos na fauna e flora	Não provado
Efeito Corona ou descarga elétrica	Mudança do Clima (Efeito Estufa) – Ozônio	Formação de ozônio pelas descargas elétricas	Desprezível
Acidentes pela operação	Público em geral	Lesões leves	Desprezível
		Lesões graves	Desprezível
		Morte	Desprezível
Acidentes pela manutenção de linhas de transmissão	Trabalhadores	Lesões leves	Desprezível
		Lesões graves	Desprezível
		Morte	Desprezível
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar

Fonte: Elaboração própria baseado em EC 1995, COMASE 1994, MÜLLER 1996, BANCO DO NORDESTE 1999 e LA ROVERE 1999

Da observação e análise do quadro 4, de um modo geral, podemos priorizar para futura valoração os seguintes impactos:

- Impactos da alteração do fluxo, do reservatório e de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, sobre a agricultura e outras atividades do setor primário,
- Impactos da construção de acessos, de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, do reservatório, e da construção de linhas de transmissão, sobre as florestas,

- Impactos da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração),
 - Impactos da alteração do fluxo sobre a navegação,
 - Impactos pela alteração do fluxo com efeitos à saúde pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica (diarréia, mosquitos, malária),
 - Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos minerais,
 - Impactos das emissões de gases de estufa sobre a mudança do clima,
 - Impactos das fases de construção e operação sobre as atividades recreacionais,
 - Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos culturais (incluindo e estética) e arqueológicos,
 - Impactos das fases de construção e operação sobre os ecossistemas terrestre e aquáticos, e sobre a biodiversidade,
 - Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes).

3.4. Impactos Ambientais Associados a Termelétricas:

No caso da geração a partir de termelétricas podemos ter vários tipos de combustíveis associados, como óleo, gás natural, carvão, biomassa, ... Assim, devemos caracterizar os impactos, em uma análise de ciclo de combustível, para cada um destes casos. No âmbito desta tese faremos esta caracterização apenas para o caso do gás natural³⁰, mais especificamente àquele transportado por gasoduto e usado para gerar energia em uma planta a ciclo combinado. Neste caso as atividades ou estágios do ciclo de combustível são (EC, 1995):

- Prospecção e exploração de gás,
- Construção das plantas de tratamento e geração e dos gasodutos,
- Extração do gás natural (operação da plataforma),

³⁰ Sugerimos European Commission 1995 como bibliografia para observação dos demais, bem como de outras formas de geração de energia como eólica, solar, etc ... E ainda PINGUELLI ROSA 1996 para o caso do carvão.

- Operação dos gasodutos (onshore e offshore)³¹,
- Tratamento do gás,
- Geração de energia elétrica,
- Disposição dos resíduos,
- Transmissão de eletricidade,
- Transporte de materiais e pessoal.

3.4.1. Detalhamento do ciclo de combustível do gás natural³²:

Existem várias teorias sobre a origem do gás natural a mais aceita é que este assim como o petróleo provém da maturação térmica de matéria orgânica contida em rochas geradoras.

Seu ciclo de uso (ciclo de combustível) inicia-se com a prospecção / exploração, que é a fase onde são feitos os estudos preliminares para localização de jazidas através de métodos geológicos (estudam as sucessivas transformações do globo terrestre e a evolução de seu mundo orgânico) e geofísicos (estuda os fenômenos naturais ou antropogênicos que afetam a terra) em bacias sedimentares.

Os estudos geológicos iniciam-se pela fotogeologia, feita através de fotografias aéreas de aviões e satélites, e onde se observam as diversidades de conformação do solo, registrando-se afloramentos (direção, inclinação e natureza), dobras e falhas, e se procede o esboço de um mapa geológico. Do esboço parte-se para o detalhamento destes mapas através de pesquisas locais para procura de fósseis e caracterização das diversas épocas em que as camadas do terreno se formaram (paleontologia), de estudos geoquímicos em amostras para procura de indícios gasosos ou oleosos, de estudos geomicrobiológicos para determinar a influência das bactérias, a respectiva evolução da matéria orgânica e a alteração dos constituintes do petróleo/gás, e de medições das pressões hidrodinâmicas diferenciais, para caracterizar a capacidade de retenção nas trapas e definir áreas mais promissoras.

³¹ O transporte também poderia ser feito através de navios metaneiros, utilizando processos criogênicos para redução de volume (x 1/600), mas esta forma só é usada para grandes distâncias marítimas (até 10.500 Km), não sendo a escolha mais freqüente (mais de 95% do transporte no mundo é realizado através de gasodutos).

³² Item baseado em CHESF 1987 e PINGUELLI ROSA 1995.

Paralelamente às pesquisas geológicas mais detalhadas realizam-se pesquisas geofísicas, onde os principais métodos utilizados são: gravimetria (aplicação de diversos instrumentos (gravímetro ou balança de pressão) na superfície do solo visando a indicação precisa de pequenas variações de gravidade, causadas pela distribuição no subsolo de rochas com densidades em profundidades diversas (mais pesadas, mais atração); método sísmico (terremotos artificiais provocados por explosivos (terra) ou fontes de ondas (mar), a partir dos quais as ondas de choque que voltam a superfície são captadas por instrumentos (sismógrafos) colocados à distâncias variadas do local da fonte (ondas de choque se propagam e se refletem com mais velocidade em formações mais duras (calcáreos) do que nas moles e a medida do tempo define a profundidade da camada refletora); método magnético (determina-se a distribuição das rochas com características magnéticas diversas pelas variações locais de intensidade e direção do campo magnético); e através da perfuração após a perfuração do poço (avaliação confiável a um custo de 5 a 10% do da perfuração de um poço). Esta pode ser elétrica (descidos eletrodos por cabos que aplicam correntes elétricas e verificam-se o potencial elétrico e resistências características dos fluidos associados as diversas camadas, tirando-se a porosidade e a permeabilidade das camadas), radioativa (medida da radioatividade natural das camadas (raios gama)), e perfuração de neutrôns (partículas de neutrôns são dirigidas as camadas por fontes e registradas em contadores de pulsação). Os dois últimos tipos servem para avaliar a litologia e a porosidade das camadas.

Depois de concluídos os estudos de prospecção, inicia-se a perfuração de um poço pioneiro. Este é o único modo de se ter certeza da existência do gás/petróleo.

Em terra (onshore), primeiramente nivela-se a área e instala-se a torre (45 m de altura), que tem entre outras a função de sustentar a coluna de perfuração (conjunto de tubos). No alto da torre existe um conjunto de polias e na plataforma de sondagem um guincho destinado a subir e descer o conjunto de tubos. As sondas operam por meio de rotação e utilizam mesa giratória. Esta localiza-se no centro da plataforma da torre, é acionada em velocidades regulares, por potentes motores, e possui um orifício pelo qual passa a haste de sondagem (seção poligonal, de 12 m), que por sua vez transmite o movimento giratório ao conjunto de tubos de perfuração, em cuja extremidade inferior está enroscada a broca. Pelo movimento de rotação, pelo peso aplicado pelos comandos

(tubos de aço de parede mais espessa colocados entre a broca e os tubos de perfuração) e também pela circulação do fluido de perfuração (lama, mistura de betonita, argila, óleo e água, injetada, pelo meio da haste e interior dos tubos, para lubrificar e resfriar a broca e levar a superfície os fragmentos do terreno que está sendo perfurado, através do espaço anular entre os tubos e a parede do poço) é que o solo vai sendo perfurado pela broca, a qual possui diâmetro bem maior que os tubos. Após perfurar cerca de 12 m a extremidade superior da haste atinge o nível da mesa rotativa. Neste momento o operador interrompe o movimento de rotação, com o guincho a eleva totalmente, apoiando em seguida a coluna de perfuração através de cunhas, desenrosca e retira a haste, adiciona outro tubo a coluna e novamente enrosca a haste (que com o novo tubo fica acima da mesa rotativa) e reinicia o processo de perfuração até a necessidade de uma nova inclusão de tubo. A vida útil de uma broca não ultrapassa 40 horas e tão logo se desgasta é necessário tirar todos os tubos de perfuração (normal até 5 Km de tubo ou mais), substituí-la e recolocar tudo de novo no poço. As brocas podem ser de lâminas, de cones, de diamantes naturais e de diamantes artificiais.

Não obstante o esforço para se conservar a perfuração na vertical, uma vez que em terra a geometria dos furos normalmente é vertical, às vezes há necessidade de desviá-la e temos a chamada perfuração direcional. Para tal se usa uma ferramenta especial que descida no poço, desvia a broca da trajetória inicial, orientando-a na direção pretendida. As diversas aplicações da perfuração direcional são: para atingir um objetivo situado sob local de difícil acesso (relevo acidentado, terreno pantanoso, grande extensão de água), em caso de uma perfuração obstruída por um “peixe” (obstáculo) impossível de pescar, para perfurar poços divergentes, muito usados no mar, em caso de um poço em erupção não controlada (para controle) ou para extinção de incêndio, para atingir o gás ou petróleo nas circunvizinhanças (roubo) e para atingir um objetivo geológico descoberto após o início da perfuração.

Terminada a perfuração e achado gás e/ou petróleo, procede-se a avaliação, isto é faz-se testes e análises que determinam se o petróleo descoberto é comercial ou não. Nesta fase faz-se a perfilagem e esta dando ok! executa-se testes de formação e produção. Estes consistem em colocar o poço em regime de operação temporária (um ou vários dias) para determinar entre outras coisas o volume potencial de petróleo e gás da jazida e a produção diária do poço.

Para completar o poço para produção torna-se necessário seu revestimento com tubos de aço. Cada um dos tubos é descido em conexão com o anterior, perfazendo o conjunto de tubos, um revestimento que vai do fundo a boca do poço. Em alguns casos, mais de um conjunto de tubos (revestimento) é descido, com a quase totalidade deles vindo até a superfície (telescópio mais largo no topo). Após a colocação dos revestimentos, é introduzido, por meio de bombas, cimento entre o revestimento e as paredes do poço, evitando-se assim toda e qualquer comunicação do reservatório com o exterior que não seja por dentro dos tubos de revestimento.

O poço descobridor informa que existe petróleo em quantidades comerciais, mas para determinar a jazida e o volume das reservas são perfurados poços estratigráficos (para obter a disposição seqüencial das rochas de subsuperfície), poços de extensão (perfurados fora dos limites provados de uma jazida visando ampliá-la ou delimitá-la), poços pioneiros adjacentes (para descobrir novas jazidas adjacentes) e poços jazida mais rasa ou mais profunda (perfurados dentro de um campo para descobrir jazidas a profundidades diferentes da profundidade da conhecida).

Depois desta fase, quando já se sabe o tamanho da jazida, começa a fase de implantação da produção e são perfurados poços de desenvolvimento (dentro dos limites do campo para drenar racionalmente gás e petróleo) e poços de injeção (perfurados com a intenção de injetar fluidos para ajudar na recuperação de petróleo/gás). Pode-se ainda fazer poços especiais (perfurados para outro objetivo como a obtenção de água necessária para perfuração).

Terminada a perfuração e o completamento é procedida a fase de equipagem, quando é colocada nos poços a árvore de natal, que é um conjunto de válvulas (no mínimo três, mestra, lateral e de pistoneio) que controlam a produção. Nos campos em terra os poços ficam mais ou menos espalhados, sendo que os poços pertencentes a uma mesma área e de mesmas características (doce, salgado, baixa pressão, alta pressão) são agrupados como afluentes de um mesmo manifold de produção, dentro de uma estação coletora. Os manifolds são complexos de válvulas que permitem reduzir e selecionar o tipo de operação a ser realizada. Estes podem ser de coleta e de distribuição, sendo o mais importante o de coleta da produção. O manifold de produção permite juntar os diversos fluxos de produção de poços para processamento posterior conjunto ou ainda segregar do conjunto qualquer poço que se deseja testar individualmente. Os manifolds

de distribuição assemelham-se ao de coleta, alternando-se as partes necessárias. Em terra usa-se dividir o “header” em dois ou mais, tornando o conjunto de manifolds complexo. Este procedimento não se adota no mar.

As chamadas instalações de produção incluem os separadores gás/líquido e óleo/água, as unidades para condicionamento, bombeamento e compressão dos efluentes, os sistemas de utilidades e de controle e os sistemas auxiliares diversos.

O gás natural que provem de poços produtores apresenta algumas características que normalmente impedem a distribuição e utilização final do gás em forma direta, precisando previamente ser tratado ou condicionado.

O tratamento ou condicionamento do gás natural compreende todo o conjunto de processos ao qual o gás deve ser submetido a fim de remover os contaminantes (H_2S , vapor d'água, CO_2 , N_2 , He, Ar, ...) e/ou satisfazer as especificações tanto de segurança quanto de mercado, ou ainda o conjunto de processos subseqüentes a que o gás pode ser submetido. Normalmente os distintos processos a que devem ser submetidos o gás natural para seu condicionamento são:

- Separação dos líquidos (petróleo e água) e sólidos (areia, lama, lodo) que acompanham o gás natural;
- Recuperação de hidrocarbonetos condensáveis (recuperar as frações mais pesadas do gás em forma de líquido, resultando hidrocarbonetos líquidos (mistura de líquido de gás natural, gás liquefeito de petróleo, gasolina natural, etano, propano ou butano) e o chamado gás seco ou tratado);
 - Desidratação ou secagem do gás natural (retirar a água saturada);
 - Extração dos compostos contaminantes (remoção de H_2S e CO_2 através de solventes químicos ou físicos, de destilação, e de leitos de óleo); e
 - Separação de compostos inertes (N_2 , He, CO_2).

Executado o tratamento o gás natural é transportado dos centros de produção até os centros de consumo. Esta etapa pode ser feita por gasodutos (terrestres ou submarinos) ou por processos criogênicos (navios metaneiros), dependendo da distância a percorrer (grandes distâncias marítimas (até 10.500 Km) usa-se navios metaneiros), das características geográficas e geológicas do terreno (cobertura do solo ou lâmina d'água), da complexidade do sistema de distribuição para o qual é projetado (poucos ou muitos pontos de origem/terminais de consumo), dos fatores ambientais intrínsecos, das

características físicas do produto a transportar (principalmente seu estado – líquido ou gasoso – temperaturas e pressões relacionadas), e da flexibilidade e economicidade desejadas (é viável projetar sistemas compatíveis para as fases líquida e gasosa, dependendo de características particulares). Contudo a maior parte do transporte do gás natural comercializado no mundo é realizado através de gasodutos (mais de 95%), sendo fixado sobre este o enfoque de nossa análise.

Mesmo antes do tratamento, o gás natural é utilizado para recuperação secundária nos campos petrolíferos. Após à etapa de condicionamento e transporte, este é utilizado nos setores industrial, residencial, público e comercial, de geração de energia, e de transportes (substituindo o diesel, o carvão e o óleo combustível, e o GLP). As principais vantagens de características do gás natural seco em relação a outros combustíveis são: o baixo teor de enxofre para mesmo conteúdo energético (1.000 vezes menor que o carvão e os óleos combustíveis pesados e 300 vezes menor que óleos comestíveis domésticos), a alta pureza do gás e dos produtos da combustão (baixíssimos níveis de poluição em relação a outros combustíveis, não dão origem a depósitos de resíduos que causem dano ou afetem a eficiência das instalações), o seu estado gasoso (permite diversidade de queimadores, ampla faixa de potências caloríficas, alta octanagem (125 octanos) e queima mais completa), e o fato do usuário não precisar de área e instalação para estocagem de combustível. Já as desvantagens são: menor poder calorífico por unidade de volume (importante para o transporte e a construção civil onde é necessário a estocagem (móveis com reservatórios de 40 a 60 l a 200 bar)), sistema de transporte e distribuição mais difícil, caro e menos flexível, e o fato da radiação luminosa emitida (maior parte da energia calorífica liberada) pelo GN ser menor que a do carvão e a dos óleos combustíveis (logo capacidade de transmissão de calor por radiação também menor), o que leva a necessidade de equipamentos com maiores superfícies (mais volumosos e onerosas) para uma mesma capacidade de calor transmitido em fornos, caldeiras, etc.. Dentre as possíveis formas de uso focaremos na geração de energia.

Existem diversas formas de gerar energia a partir de termelétricas. Esta geração pode ser feita em centrais ou em unidades de cogeração³³, e ainda, dependendo do ciclo

³³ Cogeração é a geração simultânea de eletricidade e energia térmica (calor / vapor de processo) através do uso seqüencial e eficiente de quantidades de energia de uma mesma fonte.

termodinâmico utilizados podemos ter: o ciclo turbina a vapor (Rankine), os ciclos de turbina à gás (Brayton e Cheng) e o ciclo combinado (gás e vapor).

No ciclo a vapor, temos uma máquina de combustão externa, isto é, os gases resultantes da queima não entram em contato com o fluido de trabalho que escoar no interior da máquina e realiza o processo de transformação da energia do combustível em potência de um eixo. Em uma caldeira são injetados combustível e ar a pressão atmosférica (no queimador), e é circulado água (fluido de trabalho) através de serpentinas (aí ocorre a transferência de calor dos produtos da combustão ao fluido de trabalho), produzindo vapor superaquecido ($560\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a alta pressão, que a seguir passa por uma turbina que transforma a energia térmica em mecânica, que por sua vez é transmitida por um eixo a um gerador que a transforma em energia elétrica. Após a turbina este vapor (agora a menor pressão) passa por um condensador (temperatura de saída $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) transformando-se em água (baixa pressão) que é em parte recirculada no processo. Como não há contato com o fluido de trabalho, este apresenta uma flexibilidade quanto ao tipo de combustível a ser utilizado, podendo inclusive serem produzidos resíduos durante a queima (casos do carvão e óleos pesados).

No ciclo à gás temos uma máquina de combustão interna, isto é, os gases resultantes da queima são o próprio fluido de trabalho que escoar no interior da máquina e realiza o processo de conversão de energia do combustível em potência de um eixo. O ar é comprimido na máquina e a queima do combustível aumenta a temperatura deste ($1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$) a pressão constante. Os gases a alta temperatura se expandem em uma turbina realizando o trabalho de conversão da energia térmica em energia mecânica (efluir gás à $500\text{ }^{\circ}\text{C}$), que por sua vez é transmitida por um eixo a um gerador que a transforma em energia elétrica (o eixo também fornece energia ao compressor que insufla o gás no processo). Esta máquina possui menor custo, peso, e espaço ocupado por potência ($\$, \text{Kg e m}^3 / \text{kW}$). Devido aos gases serem o fluido de trabalho é necessário um combustível de maior qualidade como o gás natural.

O ciclo combinado é o acoplamento térmico de um ciclo de turbina a gás com um ciclo de turbina a vapor convencional, pelas características das temperaturas de entrada e saída destes. O calor necessário para caldeira da turbina a vapor é fornecido pelos gases quentes da exaustão da turbina à gás. No acoplamento há uma redução das eficiências de cada ciclo (à vapor $\sim 43\%$, à gás $\sim 33\%$, combinado $\sim 48\%$), mas o

conjunto apresenta uma eficiência superior a cada um isolado. Atualmente este tem sido o tipo de máquina usado para geração de energia a partir do gás natural, e é sobre este ciclo que este trabalho irá focar. As figuras 6 e 7 mostram este ciclo.

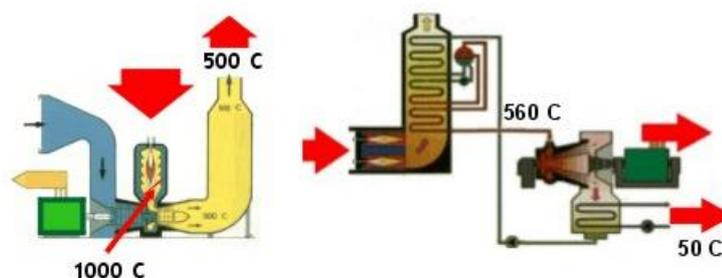


Figura 6

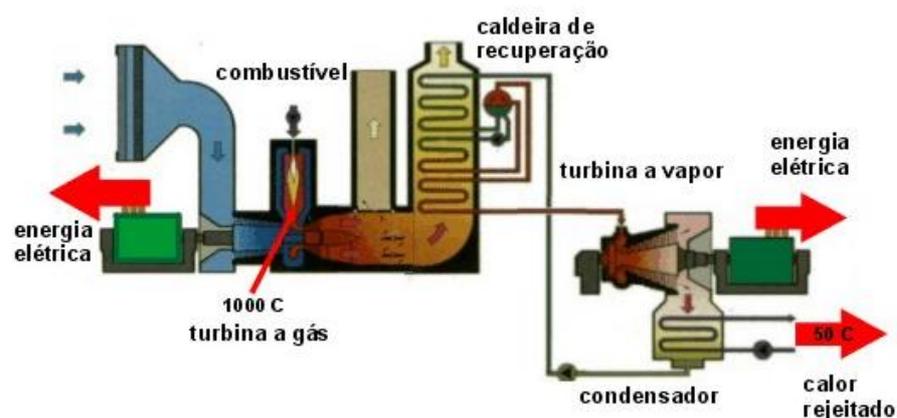


Figura 7

3.4.2. Impactos de termelétricas à gás natural:

Existem impactos associados a todas as fases de seu ciclo de combustível. Apresentaremos estas no quadro 5, assim como os causadores e os receptores, e ainda priorizaremos estes pelo grau de alteração dos mesmos nos níveis alto, médio e baixo.

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
1 – Prospeção e exploração do gás			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes pela exploração	Trabalhadores	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
		Estresse psicológico	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar
Radiação nuclear (do processo perfuração radioativa nos poços)	Trabalhadores	Efeitos da radiação	Baixo
B – Emissões atmosféricas			
Emissões das plataformas ou navios de exploração	Vários	Vários	Baixo
C – Emissões sobre o meio ambiente marinho			
Entulhos	Cardume de peixes	Perda de marcha (movimento)	Baixo
Óleos ³⁴	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Baixo
Produtos Químicos	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Baixo
Fluidos de perfuração	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Baixo
Material perfurado	Vida marinha	Abafam ou tampam os ecossistemas	Baixo
Radiação nuclear (do processo perfuração radioativa nos poços)	Vida marinha	Efeitos da radiação	Desprezível
D – Outros			
Zona de exclusão	Cardumes de peixes	Redução da captura	Baixo
Perturbação	Ecossistemas marinhos	Redução da abundância	Baixo

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

³⁴ O óleo causa redução da quantidade de luz solar disponível, diminuindo a fotossíntese e causando graves efeitos sobre a produção de fitoplâncton (principalmente o óleo cru que é mais persistente – 1 a 10 ppm causam mortalidade e menos fotossíntese). As frações mais leves como gasolina, querosene e diesel apresentam grande quantidade de aromáticos que em parte se dissolve na água (o restante evapora) afetando a vida marinha. O óleo adere às penas dos pássaros causando a perda de isolamento térmico, dificuldade de vôo e falta de flutuabilidade, que leva à hipotermia, aumento do metabolismo e afogamento.

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
2 – Construção de plataformas, gasodutos, plantas de tratamento e geração, e de linhas de transmissão			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes pela construção	Trabalhadores e Público em geral	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
		Estresse psicológico	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar
Particulados ³⁵	Trabalhadores	Problemas respiratórios	Faltam dados para classificar
B – Emissões atmosféricas			
Particulados	Público em geral	Problemas respiratórios	Desprezível
	Qualidade do ar	Perda de visibilidade	Desprezível
	Materiais	Aumento da frequência de limpeza	Desprezível
Outras emissões primárias e secundárias ³⁶	Vários	Vários	Desprezível
C – Emissões sobre o meio ambiente marinho			
Entulhos	Cardume de peixes	Perda de marcha (movimento)	Baixo
Óleos	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Médio
Produtos Químicos	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Médio
Emissões de poços abandonados (em desuso)	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Baixo
D – Outros			
Ruído	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Médio
Presença física	Público em geral	Perda visual	Baixo
	Navegação	Obstrução	Baixo
Zona de exclusão	Cardumes de peixes	Redução da captura	Baixo
Perturbação	Ecossistemas marinhos	Redução da abundância	Baixo
Uso da terra	Agricultura	Perda de terras	Médio
	Florestas	Perda de terras	Médio
	Ecossistemas naturais	Perda direta das espécies	Médio
		Pedra dos habitats	Médio
		Perda da sustentabilidade	Médio
Edificações	Perda de terra	Médio	
3 – Extração – Operação da plataforma de gás			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes pela construção	Trabalhadores e Público em geral	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

³⁵ São as partículas (sólidos e líquidos) que devido ao seu pequeno tamanho (menor que 50 µm) mantém-se em suspensão na atmosfera, incluindo nitratos, sulfatos, e outros sais de sulfatos, sais de metais e partículas carbonáceas.

³⁶ Emissões primárias são aquelas liberadas diretamente na atmosfera, e emissões ou poluentes secundários são aqueles formados a partir de reações químicas.

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar
B – Emissões atmosféricas			
Gases que originam o ozônio, o HNO ₃ , e nitratos (NO _x e hidrocarbonetos) ³⁷	Público em geral	Problemas respiratórios – pulmonares	Desprezível
	Florestas	Perda de colheita, aparência, ...	Desprezível
	Plantações agrícola	Perda de colheita, qualidade, ...	Desprezível
	Ecossistemas naturais	Perda de sustentabilidade	Desprezível
	Materiais	Perda de durabilidade	Desprezível
Emissões de gases de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O) ³⁸	Público em geral	Impactos análogos aos do item 5.1	Alto
	Florestas	Impactos análogos aos do item 5.2	Alto
	Plantações agrícola	Impactos análogos aos do item 5.2	Alto
	Ecossistemas naturais	Impactos análogos aos do item 5.2	Alto
	Ecossistemas aquáticos	Impactos análogos aos do item 5.3	Alto
	Meio ambiente físico	Impactos análogos aos do item 5.4	Alto
Outras emissões	Vários	Vários	Desprezível

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

³⁷ Os óxidos de nitrogênio resultam da combinação do oxigênio e do nitrogênio do ar admitidos na máquina a altas temperatura e pressão. Estes são o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂), sendo que o NO facilmente se transforma no segundo na presença do ar. Os poluentes secundários dos NO_x aumentam a susceptibilidade do organismo à contaminação de vírus e bactérias, são irritantes das mucosas, causam efizema pulmonar e podem se transformar nos pulmões em nitrosamina (cancerígeno). Sobre os vegetais estes agem como inibidores de fotossíntese e podem provocar lesões nas folhas. E ainda podem exercer função oxidante sobre tintas, descolorindo pinturas, tecidos, plásticos e borrachas.

Os hidrocarbonetos resultam da evaporação de produtos voláteis e do combustível não queimado, causando danos aos pulmões, inclusive o câncer (alguns hidrocarbonetos aromáticos).

Compostos orgânicos voláteis (hidrocarbonetos e solventes) e óxidos de nitrogênio na presença da luz solar formam uma mistura de poluentes secundários chamada de smog fotoquímico (óxidos fotoquímicos), cujo ozônio é o principal componente (80 a 90%) e indicador. Além de causar nevoeiro, ozônio provoca nos homens danos na estrutura pulmonar e diminui a capacidade de resistência às infecções respiratórias (mais crises de asma), além de provocar envelhecimento precoce. Nos vegetais, acima de 200g/m³ provoca necrose dos tecidos (não se sabe se os efeitos pulmonares por exposição prolongada são irreversíveis). Este processo físico químico tem maior durabilidade e alcance geográfico.

³⁸ O efeito estufa antrópico é resultado do aumento dos níveis de concentração natural (esta é que proporciona a vida na terra (+33°)) dos gases de estufa principalmente após a revolução industrial. Os gases de estufa deixam passar às radiações de alta frequência (ultra-violeta ao vermelho) oriundas do sol, mas absorvem às radiações (25% da incidente) de baixa frequência (infravermelho) que são reemitidas pela terra (absorve às solares e reemite na forma de calor) pois a energia natural de seus sistemas microscópios (átomos, moléculas, e núcleos atômicos) tem frequência proporcional à destas radiações (absorções eletrônicas, vibracionais e rotacionais). Como estes gases reemitem estas radiações em todas as direções, parte é reemitida de volta à terra criando um efeito de aumento da temperatura e da precipitação média global. Assim, temos um aumento do nível do mar (problema para regiões baixas), redução do gelo do mar, translação do sistema de produção (agricultura, pecuária, ...) pela variação das condições climáticas, problemas com o abastecimento de água (maior consumo pelo calor), problemas com a saúde (aumento da proliferação de vetores e doenças pelo calor), translação das florestas em direção aos polos, ...

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
Monóxido de carbono ³⁹	Saúde humana	Problemas respiratórios	Baixo
C – Emissões sobre o meio ambiente marinho			
Produtos químicos	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Baixo
Resíduos da plataforma	Vida marinha	Vários	Baixo
Perturbação do habitat	Vida marinha	Perda de abundância	Baixo
Águas de processo	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Médio
D – Outros			
Zona de exclusão	Cardumes de peixes	Redução da captura	Baixo
Perturbação	Ecossistemas marinhos	Redução da abundância	Baixo
4 – Operação dos gasodutos (onshore e offshore)			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes pela construção	Trabalhadores e Público em geral	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
		Estresse psicológico	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar
B.1 – Emissões atmosféricas – offshore			
Gases que originam o ozônio, o HNO ₃ e nitratos	Vários	Vários	Desprezível
Gases de efeito estufa	Vários	Vários	Desprezível
B.2 – Emissões atmosféricas – onshore			
Gases que originam o ozônio, o HNO ₃ e nitratos	Vários	Vários	Baixo
Gases de efeito estufa	Vários	Vários	Baixo
Outros gases da combustão	Vários	Vários	Desprezível
C.1 – Outros – offshore			
Zona de exclusão	Cardumes de peixes	Redução da captura	Desprezível
Perturbação	Ecossistemas marinhos	Redução da abundância	Baixo
C.2 – Outros – onshore			
Presença física (compressor)	Público em geral	Perda visual	Baixo
Perturbação	Ecossistemas	Redução da abundância	Baixo
5 – Tratamento do gás			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes pela construção	Trabalhadores e Público em geral	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
		Estresse psicológico	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

³⁹ O monóxido de carbono apresenta uma forte afinidade com a hemoglobina do sangue (210 vezes maior que a do oxigênio). Assim na presença deste é formada a carboxi-hemoglobina (composto inútil) e há uma diminuição da oxigenação do cérebro, do coração e dos tecidos (o O₂ não é levado pelo sangue através da oxi-hemoglobina). Segundo BALASSIANO (1991, In SALA 1999) 0,09 ppm em 1 hora causam diminuição da capacidade respiratória.

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
Radiação	Trabalhadores	Efeitos da radiação	Faltam dados para classificar
B – Emissões			
Gases que originam o ozônio, o HNO ₃ e nitratos	Vários	Vários	Baixo
Monóxido de carbono	Público em geral	Problemas respiratórios	Baixo
Gases de efeito estufa	Vários	Vários	Baixo
Outros gases da combustão	Vários	Vários	Desprezível
Águas de processo	Vida Marinha	Efeitos Tóxicos	Baixo
C – Outros			
Presença física	Público em geral	Perda visual	Baixo
Perturbação	Ecossistemas costeiros	Redução da abundância	Baixo
Ruído	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Baixo
5 – Geração de Energia			
5.1 – Impactos sobre os homens			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes pela construção	Trabalhadores e Público em geral	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
		Estresse psicológico	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar
B – Emissões atmosféricas			
NO _x , monóxido de carbono, gases que originam o ozônio, o HNO ₃ e nitratos (particulados secundários)	Público em geral	Problemas respiratórios	Alto
	Qualidade do ar	Perda de visibilidade	Baixo
CO ₂ – Efeito estufa e mudança do clima	Público em geral	Efeitos à saúde	Alto
		Perda de trabalho	Alto
	Áreas baixas	Perda de terra, infra-estrutura, ...	Alto
Plumas das torres de resfriamento (ciclo à vapor)	Público em geral	Proliferação de Legionella pneumophila ⁴⁰	Não provado
		Proliferação de patógenos intestinais	Não provado
		Perda visual	Desprezível
C – Outros			
Ruído	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Baixo
Presença física	Público em geral	Perda Visual	Baixo

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

⁴⁰ Bactéria causadora de um tipo de pneumonia (legionelose) que é gerada em ambientes de sistemas de refrigeração central, de águas de rio e de lama.

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
5.2 – Impactos sobre os ecossistemas terrestres			
A – Emissões atmosféricas			
gases que originam o ozônio, o HNO ₃ , e nitratos – acidificação ⁴¹	Florestas	Efeitos diretos sobre a produção de madeira	Alto
		Efeitos na aparência das árvores	Médio
		Interação com pestes	Médio
		Interações com patogênicos	Médio
		Interações com o clima	Médio
		Acidificação do solo	Médio
	Plantações	Efeitos diretos na produção	Alto
		Efeitos diretos na qualidade	Médio
		Interação com pestes	Alto
		Interação com patogênicos	Médio
		Interação com o clima	Baixo
	Espécies e habitats	Perda direta de espécies	Alto
		Perda direta de habitats	Alto
		Perda de sustentabilidade	Alto
CO ₂ – Efeito estufa e mudança do clima	Agricultura	Perda de produtividade	Alto
		Perda de sustentabilidade (erosão)	Médio
	Florestas	Perda de produtividade	Alto
		Perda de sustentabilidade	Alto
	Ecossistemas naturais (em terra, nas costas, na criosfera)	Perda de sustentabilidade	Alto
		Sobrevivência das espécies	Médio
Perda de habitat		Médio	
Plumas das torres de resfriamento	Agricultura	Redução da produção pelo bloqueio dos raios do sol	Desprezível
5.3 – Impactos sobre os ecossistemas aquáticos			
A – Emissões atmosféricas			
gases que originam o ozônio, o HNO ₃ , e nitratos – acidificação	Rios e Lagos	Perda de peixes	Baixo
		Perda de outras espécies aquáticas	Baixo
		Efeitos em espécies não aquáticas	Baixo
		Perda de habitat	Baixo
		Perda de sustentabilidade	Baixo
		Eutrofização	Médio
CO ₂ – Efeito estufa e mudança do clima	Sistemas de água doce	Variação na disponibilidade de água	Alto
		Perda de habitat	Alto
		Efeitos térmicos	Baixo
		Qualidade da água	Alto
	Sistemas marinhos	Perda de habitat	Alto
	Sistemas de estuário	Mudanças na salinidade	Médio
		Perda de habitat	Alto

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

⁴¹ O NO é oxidado em NO₂ por uma variedade de moléculas e radicais livres como o O₃, o HO₂, e o CH₃O. Este na presença da umidade do ar, produz HNO₃ (ácido nítrico). O mesmo ocorre com o SO₂, que pela ação catalítica de metais absorve energia, transforma-se em SO₄, que na presença da umidade do ar vira H₂SO₄ (ácido sulfúrico). Estes são parcial ou totalmente neutralizados pela amônia da atmosfera, caso contrário, ocorre uma precipitação ácida.

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
A – Emissões aquáticas e uso da água – Sistema de resfriamento (ciclo à vapor)			
Descarga térmica	Organismos aquáticos	Qualidade da água	Desprezível
Descarga química ⁴²	Organismos aquáticos	Qualidade da água	Baixo
5.3 – Impactos sobre os sistemas não vivos			
A – Emissões atmosféricas			
gases que originam o ozônio, o HNO ₃ , e nitratos – acidificação	Rochas (de edificações, incluindo concretos e argamassas)	Erosão, falha estrutural	Baixo
		Mudança de coloração	Faltam dados para classificar
		Danos a objetos de significância cultural	Faltam dados para classificar
		Aparecimento de manchas	Desprezível
	Metais (aço, ferro, zinco)	Corrosão, falha estrutural	Baixo
		Mudança de coloração	Faltam dados para classificar
		Danos a objetos de significância cultural	Faltam dados para classificar
		Aparecimento de manchas	Desprezível
	Polímeros	Falha do selante ou revestimento	Baixo
		Mudança de coloração	Faltam dados para classificar
		Aparecimento de manchas	Desprezível
	Materiais de fino acabamento	Perdas irreparáveis	Faltam dados para classificar
		Danos recuperáveis	Faltam dados para classificar
	Vidro	Perda de transparência	Desprezível
Aparecimento de manchas		Desprezível	
CO ₂ – Efeito estufa e mudança do clima	Sistema energético	Mudança na demanda	Alto
	Construções	Recalque	Alto
	Encostas	Desabamento	Baixo
	Suprimento de água	Disponibilidade	Alto
	Construções em áreas baixas	Perda ou dano pelo fluxo d'água	Alto
A.1 – Emissões aquáticas e uso da água – Sistema de resfriamento			
Absorção de água	Sistema aquático	Consumo do recurso	Baixo
Descarga térmica	Hidrologia	Sedimentação	Desprezível
Descarga química	Água potável	Qualidade da água	Desprezível
A.2 – Emissões aquáticas e uso da água – Outros sistemas			
Descargas	Água potável	Qualidade da água	Desprezível
6 – Disposição de resíduos (após tratamento)			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes	Trabalhadores	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

⁴² Usa-se ácido acético para retirar incrustações das caldeiras, cloro para evitar a formação de limo nos resfriadores, e ácidos sulfúrico e clorídrico para estabilizar o pH (sobe o pH) da água de processo (no ciclo à vapor).

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
		Estresse psicológico	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar
B – Emissões atmosféricas			
Poeira	Público em geral	Acúmulo de poeira	Desprezível
Emissões secundárias	Vários	Vários	Desprezível
C – Emissões sobre a água			
Óleos	Público em geral	Qualidade da água	Baixo
	Ecosistemas de água doce	Efeitos tóxicos	Baixo
	Ecosistemas marinhos	Efeitos tóxicos	Baixo
Resíduos (esgoto) domésticos (offshore)	Ecosistemas marinhos	Vários	Baixo
D – Outros			
Aterro do Solo	Ecosistemas naturais	Obstáculo ao desenvolvimento	Baixo
Contaminação do solo	Vários	Vários	Desprezível
Ruído	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Baixo
Presença física	Público em geral	Perda visual	Baixo
6 – Transmissão de energia			
A – Saúde Ocupacional			
Acidentes	Trabalhadores	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
		Estresse psicológico	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar
B – Saúde pública			
Acidentes	Público em geral	Lesões leves	Desprezível
		Lesões graves	Baixo
		Morte	Baixo
Campos eletromagnéticos	Público em geral	Câncer	Não provado
C – Outros			
Presença física	Público em geral	Perda visual	Médio
	Pássaros	Lesões, mortes (obstrução às rotas de vôo)	Faltam dados para classificar
7 – Transporte de material e pessoal			
A – Efeitos diretos à saúde			
Acidentes (durante a carga e descarga)	Trabalhadores	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Acidentes (durante o transporte de material e pessoal)	Trabalhadores e público em geral	Lesões leves	Médio
		Lesões graves	Alto
		Morte	Alto
Ruído	Trabalhadores	Perda auditiva	Baixo
Estresse físico	Trabalhadores	Danos ósseos e musculares	Faltam dados para classificar

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

Quadro 5 – Impactos do ciclo de combustível de termelétricas à GN ciclo combinado.

Causador	Receptor	Impacto	Prioridade
B – Emissões veiculares			
Particulados	Público em geral	Impactos análogos aos do item 5.1	Baixo
	Materiais	Aparecimento de manchas	Baixo
gases que originam o ozônio, o HNO ₃ , e nitratos	Público em geral	Impactos análogos aos do item 5.1	Médio
	Ecossistemas	Impactos análogos aos do item 5.2	Baixo
	Materiais	Durabilidade	Baixo
NO _x	Público em geral	Impactos análogos aos do item 5.1	Baixo
	Florestas	Impactos análogos aos do item 5.2	Baixo
	Ecossistemas naturais	Impactos análogos aos do item 5.2	Baixo
CO ₂	Vários	Impactos análogos aos dos itens 5.1 à 5.4	Baixo
C – Emissões específicas ao tráfego marinho			
Óleo	Vida marinha	Efeitos tóxicos	Baixo
Outros resíduos	Vida marinha	Vários	Baixo
D – Outros			
Ruído	Público em geral	Perturbação pelo ruído	Médio
Presença física de tráfego intenso	Público em geral	Perda visual	Médio
		Congestionamento	Desprezível
Uso dos sistemas de transporte	Rodovias	Dano físico	Baixo
	Portos	Dano físico	Internalizado

Fonte: Elaboração própria, baseado em EC 1995, PINGUELLI ROSA 1995 e 1996, BARCELOS 1986, REBELLO 1999, SALA 1999.

Da observação e análise do quadro 5, de um modo geral, podemos priorizar para futura valoração os seguintes impactos:

- Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes),
- Impactos das emissões de gases de estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) das fases de extração / operação da plataforma de gás e da geração de energia sobre os homens, ecossistemas terrestres e aquáticos, e os sistemas não vivos,
- Impactos das emissões atmosféricas da fase de geração de energia sobre os homens e os ecossistemas terrestres.

3.5.Outros aspectos de Hidrelétricas e Termelétricas:

Além dos impactos ambientais existem vários outros aspectos no qual podemos diferenciar a geração a partir de hidrelétricas daquela a partir de termelétricas. O quadro 6 nos mostra estes.

Quadro 6 – Aspectos comparativos de hidrelétricas e termelétricas

Aspecto	Grande Hídrica	Térmica à GN ciclo comb.
Custos⁴³		
Capital	Maior (800 a 1.200 US \$ / kW)	Menor (450 a 500 US \$ / kW)
Operação e manutenção (inclusive combustível)	Menor (1,3 US \$ / MWh)	Maior (7 US \$ / MWh)
Prazos		
Projeto e obras	Maior (4 a 7 anos)	Menor (2 anos)
Tempo de retorno de capital ⁴⁴	Maior	Menor
Vida útil	Maior (50 a 100 anos)	Menor (30 a 40 anos)
Localização / Transmissão		
Da planta de geração	Distante dos centros consumidores	Próximo aos centros consumidores
Transmissão	Longas distâncias ⁴⁵	Distâncias curtas ⁴⁶
Características técnicas		
Tecnologia / equipamentos ⁴⁷	Maior parte disponível no país	Maior parte importada
Manutenção	Mais fácil	Mais complicada
Disponibilidade para gerar	Sujeita aos períodos secos	Independente
Fator de capacidade (%) ⁴⁸	55%	90%
Eficiência (%)	-	48%
Rendimento (%) ⁴⁹	Depende das características locais de queda, da turbina e do gerador (> 70%)	> 40%
Atividades econômicas		
Atividades de construção e indústria do país	Permite maior atividade	Menor atividade
Número de empregos gerados	Maior	Menor

Fonte: Elaboração própria baseado em PINGUELLI ROSA 1995, GALVÃO 1999, SCHAEFFER, SZKLO, e MARQUES 1999.

⁴³ Os custos de capital menores e de operação e manutenção maiores tradicionalmente conduziram ao uso das térmicas para trabalhar na ponta (horário de pico) e em períodos de seca, já as hídricas são normalmente usadas na base (geração contínua). Contudo o contrato do tipo “take or pay” do gasoduto Brasil-Bolívia conduz a uma geração contínua com térmicas à gás, com maiores gastos de operação e manutenção e a possibilidade de se “jogar água fora” (verter sem gerar). Além disto o combustível das hídricas (custo zero) é obtido no país, enquanto que o combustível da térmica é em parte importado, estando sujeito às variações de preço do mercado mundial (exposto à guerras e governos instáveis), e gerando déficit na balança comercial.

⁴⁴ Em países como o Brasil onde o financiamento dos investimentos é a principal restrição a térmica acaba por levar vantagem (receita mais rápida e custos de juros menores) nos investimentos privados, e as hídricas acabam ficando para o capital estatal.

⁴⁵ A maior parte do potencial restante encontra-se na Amazônia.

⁴⁶ Contudo devemos contabilizar as perdas no transporte através de gasodutos desde a extração, ainda que estas sejam inferiores às perdas de transmissão.

⁴⁷ A tecnologia nacional gera empregos no país, enquanto que a importada nos deixa dependentes do mercado mundial e traz déficits a balança comercial.

⁴⁸ Fator de capacidade é a relação de produção média de uma usina, pela sua produção de pico, ou entre sua produção total, pela sua produção potencial, se operada constantemente, a plena capacidade (ótica da oferta). $FC = \frac{\text{energia produzida kWh/ano}}{[(\text{capacidade de pico kW}) \times (8760 \text{ h/ano})]}$. Fator de carga é a razão (demanda média anual + dem. máxima pico (ótica da demanda)).

⁴⁹ Rendimento é a relação entre a potência aproveitada e a fornecida, isto é, entre a energia cedida para realizar o trabalho na unidade de tempo, que é aproveitada (realiza trabalho) e a que é cedida.

Cabe ressaltar que além das grandes hidrelétricas existem as pequenas centrais hidrelétricas, que como as grandes hídricas são uma forma renovável de geração de energia, mas têm um período de construção bem menor (2 a 3 anos), próximo ao das termelétricas; têm um razoável potencial de geração disponível próximo aos centros consumidores e, assim como as termelétricas, têm ganhos por menores distâncias de transmissão. O ganho das PCH em relação às termelétricas é o ambiental pois estas praticamente não emitem gases de estufa (quantidade de metano desprezível) e nem NO_x , SO_x e materiais particulados.

4. METODOLOGIAS PROPOSTAS PARA VALORAÇÃO DAS PRINCIPAIS EXTERNALIDADES DA GERAÇÃO ELÉTRICA:

4.1. Geração Hidrelétrica:

4.1.1. Impactos da alteração do fluxo, do reservatório e de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, sobre a agricultura e outras atividades do setor primário:

Uma vez que temos um preço de mercado para os produtos agrícolas e de outras atividades do setor primário (Baseado em dados da FAO ou, de Jornais como a Gazeta Mercantil – Faixas de preço) o método de melhor aplicabilidade para a maioria dos casos, é o da produtividade marginal ou de produção sacrificada. As perdas de área de cultura devido ao enchimento do reservatório e aos despejos de resíduos devem ser contabilizadas durante a vida útil do projeto. Já aquelas relacionadas a locais de empréstimos fora da área alagada, devem ser contabilizadas apenas durante a fase de construção. As produtividades anteriormente praticadas podem ser obtidas de estatísticas do IBGE.

A alteração no fluxo devido ao barramento também leva a elevação do nível d'água e piezométrico a montante, com perdas de área de cultura que podem ser contabilizadas pelo custo de substituição/relocalização, ou simplesmente pela produção sacrificada (ou produtividade marginal) pela indisponibilização destas áreas.

Temos ainda a retenção de sedimentos pelo barramento, com indisponibilização destes como nutrientes para as culturas de jusante. Como fica difícil estabelecer uma

função da quantidade de nutrientes perdidas e não se dispõe de um preço de mercado para os nutrientes disponibilizados pela natureza, contabiliza-se este serviço através do método de custos de reposição, utilizando o aumento nos gastos de fertilizantes industriais (bem substituto – para o qual temos preço de mercado – dados da FAO) para manter a mesma produtividade que existia anteriormente ao barramento.

4.1.2. Impactos da construção de acessos, de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, do reservatório, e da construção de linhas de transmissão, sobre as florestas:

Uma das formas de se valorar as perdas de áreas de florestas é pelo método da produtividade marginal, utilizando para tanto o preço de mercado da madeira (FAO e Jornais). Contudo esta técnica se limita apenas ao valor de uso da floresta como madeira, e sabemos que esta tem outros valores de uso e valores de não uso.

Uma segunda forma seria o método dos custos de reposição, fazendo uso do preço de mercado para reflorestamento (bem substituto). Ainda assim, o reflorestamento não garante a reposição de todas as funções ecossistêmicas anteriormente executadas.

Uma outra forma seria utilizar a valoração de funções ecossistêmicas como o sequestro de carbono, utilizando o preço de mercado⁵⁰ para a quantidade de carbono que seria abatida caso a floresta não fosse indisponibilizada, através do método da produtividade marginal.

A área a ser contabilizada é a faixa de domínio dos acessos e linhas de transmissão, os locais de empréstimos e bota fora, e a porção alagada pelo reservatório. Os acessos, se provisórios, devem ser considerados apenas durante a construção, para os demais toma-se como horizonte a vida útil do projeto.

4.1.3. Impactos da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração):

Com a criação do barramento temos a retenção de sedimentos e assoreamento do reservatório, com perda de seu volume útil, e conseqüentemente dos usos múltiplos por ele proporcionado (atividades de geração, controle de cheias, irrigação, e

abastecimento). Como a erosão afeta a produtividade destas atividades, será adotada a técnica de análise da produtividade marginal, enfocando o impacto da erosão na magnitude do benefício destas.

Para se obter o volume sedimentado na barragem⁵¹, inicialmente se correlaciona a erosão do solo com os diversos tipos e usos de solo a montante e ao redor do reservatório através da Equação Universal de perda do solo, onde a perda do solo é função de fatores como a densidade pluviométrica, a erosão do solo, o ângulo de inclinação do solo, os gerenciamentos dos usos dos solos existentes e os controles de erosão existentes. A seguir obtém-se a perda anual total pelo somatório dos produtos das perdas de solo de cada tipo de solo (obtidos pela E. Universal) pela área de cada um destes tipos de solo. Como forma de simplificação pode-se suprimir a etapa equação universal de solos e utilizar taxas compostas de erosão para região como um todo⁵².

Uma vez que nem todo material erodido é carregado até o reservatório, para obter-se o material que chega, isto é, para converter o volume que é erodido anualmente no volume que chega no reservatório, utiliza-se uma função que correlaciona o depósito anual de solo no reservatório, com o solo carregado pela região a montante (E), com a erosão dos canais (C), com a erosão da ocupação do leito (B) e com a taxa de despejo de sedimentos (R). Obtendo um valor em toneladas. Para converter de toneladas para metros cúbicos, este estudo considera uma densidade tal que $1 \text{ t} = 0,67 \text{ m}^3$.

$$S = (E + C + B) \times R$$

Assim, a taxa de erosão anual é multiplicada pela área do corpo d'água em hectares, pelo fator de erosão (E + C + B) e pela taxa de despejo dos sedimentos (R). Ainda assim, nem todo volume que chega é retido no reservatório, e o volume retido é o produto do volume que chega vezes a capacidade de retenção do reservatório⁵³.

O valor dos benefícios perdidos podem ser obtidos pela diferença entre os gastos com a construção, e operação/manutenção do reservatório, e os valores da venda de energia e de água para irrigação (outorga). No caso do reservatório de Nam Pong, os

⁵⁰ No item 4.2.2 falaremos mais detalhadamente sobre este preço de mercado de carbono evitado.

⁵¹ Baseado em Srivardhana, R. – The Nam Pong water resources project in Thailand – in SEROA DA MOTTA 1999 (parcial) e in DIXON 1994 (completo).

⁵² No artigo original, por razões técnicas os dados de taxas de erosão não foram baseados nos dados de Nam Pong, mas fabricados no ano zero e extrapolados para os demais anos.

⁵³ No artigo de Nam Pong a taxa de despejo de sedimentos estipulada foi de 0,20 e o fator de erosão 1,56. Assim, volume chega = taxa de erosão anual (tons/ha) x "X" ha x 1,56 x 0,2 x 0,67 (m³/tons). A taxa de retenção foi de 75%, volume retido = volume chega x 0,75.

benefícios anuais do projeto no ano base isto é, sem perda de volume por sedimentação, são mostrados no quadro 7.

Quadro 7 – Benefícios médios anuais do projeto:

US \$ 1982 x 10 ⁶ (original em baht, 1 US \$ 1982 = 22 baht)	
Energia Hidroelétrica	3,182
Irrigação	7,318
Controle de Enchentes	1,409
Produção Pesqueira	1,727
Total	13,636

Fonte: SEATEC Report (1978:12-34), in SRIVARDHANA, in DIXON 1984.

4.1.4. Impactos da alteração do fluxo sobre a navegação:

Os reservatórios regulam as cheias e vazantes, ampliando a área de navegação, mas por outro lado a estrutura da barragem (sem eclusa) impede à navegação em áreas que antes de sua construção poderiam ser navegáveis. Para valoração deste caso utiliza-se o método da produtividade marginal. Deve-se fazer um balanço destes benefícios e custos, verificando as variações no volume de tráfego das navegações e no preço do frete, ocasionados pelas modificação nas distâncias percorridas.

4.1.5. Impactos pela alteração do fluxo com efeitos à saúde pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica (diarréia, mosquitos, malária):

Existem vários tipos de doença de veiculação hídrica, e nestes, o mecanismo de transmissão pode ocorrer de três formas básicas: pela ingestão ou contato direto com a água através de agentes biológicos como bactérias, vírus e parasitas, por insetos vetores que utilizam a água em seu ciclo de vida, e por poluentes químicos. Neste caso as doenças são causadas por agentes biológicos ou insetos vetores que com a formação do lago, o processo de eutrofização e a formação de macrófitas flutuantes encontram ambiente propício a sua reprodução.

Para valoração deste caso, inicialmente é necessário o estabelecimento de uma função dose resposta entre a construção da barragem e a variação de um agente patogênico medido na área em análise (análise micro-epidemiológica), e posteriormente, a relação entre a variação deste agente patogênico e as taxas de morbidade e mortalidade (análise macro-epidemiológica). Estes estudos epidemiológicos podem ser feitos de duas formas básicas: uma baseada no acompanhamento da saúde de uma amostra de pessoas identificadas no tempo (cohort

studies) e outra baseada em dados estatísticos para uma população sem identificar cada indivíduo (populacional studies); e ainda podem ser tomadas duas abordagens: séries temporais (time séries) onde são observadas variações ao longo do tempo nas taxas dos efeitos dentro de uma área específica, e estudos cruzados (cross sectional) onde são observadas diferenças nos efeitos ao redor de várias localidades em um determinado ponto no tempo, ou período de tempo (inclui os efeitos de uma exposição a longo prazo) (SZKLO 1997).

Uma dificuldade para o estabelecimento destas funções é a disponibilidade de uma base de dados confiável. No Brasil foram feitas tentativas neste campo através da criação em 1961 (Decreto 49.974-A) da lista de doenças de notificação compulsória nacional (45 doenças, viroses e infortúnios do trabalho); em 1969 do Sistema Nacional de Doenças de Notificação Compulsória (SNDNC), cujas informações são coletadas diretamente na rede de serviços de saúde, através dos registros de doenças e agravos; e mais recentemente da base de dados do sistema de informação DATASUS do Ministério da Saúde⁵⁴. Entretanto a confiabilidade destes dados é relativizada, pois a notificação de doenças na rede de serviços não é encarada como atividade básica e fundamental de saúde, e podemos encontrar a falta do diagnóstico, pois os médicos se preocupam mais com a cura do que com a origem da doença (como no caso da diarreia que pode ter várias origens), ou ainda a falta de uma causa morte conclusiva, pois em muitos atestados temos por exemplo morte por parada cardio-respiratória, o que não caracteriza a origem do quadro que levou a esta morte (em 1996 o índice nacional de morte com causas desconhecidas foi de 15,1% – DATASUS 1996, Anexo 2).

Outra dificuldade esta relacionada às próprias doenças, pois alguns vetores são endêmicos apenas em algumas regiões, dificultando a criação de uma função única. Assim, nesta tese obteremos os dados de morbidade e mortalidade associadas ao barramento, pela variação dos casos de doença, ocorridas no local após a construção do barramento, da média do número de casos, obtida das séries históricas, para a mesma região.

Obtido os dados de mortalidade e morbidade oriundos do barramento, o segundo passo é obter o valor associado ao aumento risco de doença (morbidade) ou morte (mortalidade). Para tanto podemos fazer uso dos métodos de custo de doença (despesas

de reposição), de capital humano (produtividade marginal ou produção sacrificada), de salários diferenciais (preços hedônicos – salários diferenciais / insalubridade), ou de valorização de contingente para reduzir a probabilidade de doença ou morte. Cabe ressaltar que segundo DIXON (1994) existe um consenso que o método de capital humano deve ser usado apenas para valorar a vida de um indivíduo em particular, para estabelecimento de valores de seguro.

4.1.5.1. Valores de mortalidade:

Os quadros 8 e 9 nos dão valores de morbidade baseados em estudos anteriores:

Quadro 8 – VPPF para cidade de São Paulo (Método da Produção Sacrificada)

Faixa Etária	Mortalidade (M em%)	Participação (P em %)	Desemprego (D em %)	Renda real média mensal	VPPF (r = 3%)	VPPF (r = 10%)
15 – 17	0,72	28,70	10,88	217,68	254.777,08	45.195,16
18 – 24	1,11	65,21	9,23	420,98	255.353,99	60.637,59
25 – 29	1,11	74,77	5,44	673,39	248.352,34	79.208,47
30 – 39	2,73	75,33	3,60	870,27	213.299,45	87.066,73
40 – 49	5,21	72,41	2,13	1045,46	151.187,34	81.661,27
50 – 59	7,38	52,21	1,64	971,14	74.100,64	51.871,67
60 – 64	9,64	29,69	1,25	867,30	24.656,93	19.857,08
65 –	12,91	11,25	0,91	860,27	10.959,40	9.325,26

Valores em US \$ 1997

$(P_{j,i})_1 = 1 -$ taxa de mortalidade por faixa de idade do censo 1991; $(P_{j,i})_2 =$ taxa de participação por faixa de idade dos censos e PNADs do IBGE; $(P_{j,i})_3 = 1 -$ taxa de desemprego do IBGE; $Y_i =$ renda de SP ponderada por faixas pela renda por faixa do Brasil, com taxa de crescimento de 2,74% (SP 49 a 95).

Fonte: SEROA DA MOTTA 1998

Quadro 9 – Valor da Vida Estatística

Estudo/Ano	País	Valor	Moeda/Ano
Arnould-Nichols (1983)	EUA	870.000,00	US \$ 1989
Dillinghan (1979)	EUA	550.000,00	US \$ 1989
Olson (1981)	EUA	9.680.000,00	US \$ 1989
Smith, R. (1974)	EUA	10.220.000,00	US \$ 1989
Smith, R. (1975)	EUA	4.500.000,00	US \$ 1989
Smith, V. (1983)	EUA	4.770.000,00	US \$ 1989
Thaler / Rosen (1976)	EUA	780.000,00	US \$ 1989
Viscusi (1978)	EUA	3.950.000,00 – 14.990.000,00	US \$ 1989
Viscusi (1981)	EUA	9.540.000,00 – 14.990.000,00	US \$ 1989
Marin / Psacharopoulos (1982)	UK	4.090.000,00	US \$ 1989
Veljanovski (1980)	UK	8.450.000,00 – 11.440.000,00	US \$ 1989
Needleman (1979)	UK	320.000,00 – 1.790.000,00	US \$ 1989
Ottinger (1992)	EUA	440.000,00 – 12.800.000,00	US \$ 1992

Fonte: Elaboração própria baseado em KRUPNICK & BURTRAW (1996), MARGULLIS (1992), SERÔA DA MOTTA (1998), EXTERNE (1995), e PEARCE & MARKANDYA (1987, In: MENDES 1993)

⁵⁴ Disponível na internet no site www.datasus.gov.br

Quadro 9 – Valor da Vida Estatística

Estudo/Ano	País	Valor	Moeda/Ano
Spadaro (1998)	França	3.250.000,00	US \$ 1998
Margullis (1992)	México	75.000,00	US \$ 1992
Dixon (1994)	EUA	1.000.000,00 – 8.000.000,00	US \$ 1994
TER (1995)	EUA (Minnesota)	3.600.000,00	US \$ 1993
Hagler Bailly	EUA (NY)	3.000.000,00 (> 65) 4.000.000,00 (< 65) 3.300.000,00 (todos)	US \$ 1992
Lee (1995)	EUA	3.500.000,00	US \$ 1989
EXTERNE (1995)	Europa	2.600.000,00 3.250.000,00	ECU 1989 (US \$, x 1.25)
EPA (1997)	EUA	4.800.000,00	US \$ 1990
EXTERNE (1995 e ..8)	Europa	3.250.000,00	US \$ 1992

Fonte: Elaboração própria baseado em KRUPNICK & BURTRAW (1996), MARGULLIS (1992), SERÔA DA MOTTA (1998), EXTERNE (1995), e PEARCE & MARKANDYA (1987, In: MENDES 1993)

Segundo MARKANDYA (1998, In: SERÔA DA MOTTA 1998) um recurso que pode ser utilizado para o aproveitamento de estudos prévios é o método da transferência de benefícios, que consiste em adaptar a DAP (ou outra estimativa) de outras localidades para o local que está sendo estudado, através de fatores de conversão baseados nas diferenças de renda per capita. Se adotarmos os valores para vida na Europa de EXTERNE (1998), estes fatores de correção são:

$$\text{Fator 1} = [\text{PPC}_{\text{Br}} \div \text{PPC}_{\text{Eu}}]^e \text{ (MARKANDYA 1998) ou}$$

$$\text{Fator 2} = [(P_{\text{Br}} \div P_{\text{Eu}})^e \times (E_{\text{Br}} \div E_{\text{Eu}}) \times (G_{\text{Br}} \div G_{\text{Eu}})] \text{ (HEINTZ E TOL 1996)}$$

Onde:

PPC_{Br} = paridade do poder de compra no Brasil no ano t,

PPC_{Eu} = paridade do poder de compra na Europa no ano t,

P = PIB per capita no ano t,

e = elasticidade renda da demanda no Brasil,

E = expectativa de vida ao nascer no ano t,

G = gastos com saúde como porcentagem do PIB no ano t.

SERÔA DA MOTTA (1998) aplicou estes fatores e obteve valores de vida estatística para o Brasil conforme o quadro 10. Estes serão os valores utilizados para mortalidade no âmbito desta tese.

Quadro 10 – Valor de Vida estatística transferido da Europa para o Brasil

País	Brasil	Europa
Variáveis (dados em US \$ de 1995)		
PIB per capita (P)	3.640,00	21.538,20
Expectativa de vida (E)	67,1	77,3
Gastos com saúde (G)	7,4	8,6
Paridade do Poder de Compra (PPC)	5.500,00	17.900,00
Elasticidades:		
1 (mais utilizada)	Fator 1 → 0,307263	
	Fator 2 → 0,126273	
0,54 (*)	Fator 1 → 0,528756	
	Fator 2 → 0,286075	
Valor da Vida Estatística (Valores em US \$ de 1992)		
e = 1 / Fator 1	998.604,75	3.250.000,00
e = 1 / Fator 2	410.387,25	
e = 0,54 / Fator 1	1.718.457,00	
e = 0,54 / Fator 2	929.743,75	
(*) proposta por ARDILA, QUIROGA E VAUGHAM (1998) para América Latina e Caribe.		

Fonte: SERÓA DA MOTTA (1998).

Para contabilizar o número de mortes por casos de doença utilizaremos os dados do quadro 11

Quadro 11 – Número de Mortes por Casos de Doença:

Doença	Número de Mortes	Número de Interações	Número de Mortes por Caso de Doença
Esquistossomose	4,17	138,00	0,0302
Leptospirose	29,00	307,67	0,0943
Febre Amarela	0,58	4,59	0,1264
Malária	9,67	2432,58	0,0040
Leshimaniose	11,42	338,58	0,0337
Dengue	0,17	43,00	0,0040
Cólera	1,50	70,16	0,0214
Tifo	4,50	432,58	0,0104
Amebíase e Outros Microorg.	8,42	1472,50	0,0057

Fonte: Elaboração Própria baseado em dados do Anexo 2.

4.1.5.2. Valores de morbidade:

Conforme visto no item 3.3 as doenças que podem ter a incidência na população ribeirinha ampliada em função da alteração no fluxo (reservatório) na construção de uma hidrelétrica são esquistossomose (caramujos); febre amarela, malária, leshimaniose, dengue, filariose, chagas e oncocerose (insetos); cólera, tifo, disenterias e parasitas (baixa higiene). Inicialmente calcularemos os custos associados a estas

doenças pelo método do custo de doença, com a utilização de dados do DATASUS e do IBGE⁵⁵. Os cálculos estão nos quadros 12 a 14 e o custo de doença é dado pela fórmula:

$$\text{CD Total} = \text{gastos com tratamento} + \text{valor dos dias perdidos de trabalho}$$

$$\text{Gastos com tratamento} = \text{gastos com internações} + \text{gastos ambulatoriais}$$

$$\text{Gastos com internação} = \text{n}^\circ \text{ internações} \times \text{média de permanência} \times \text{valor médio internações}$$

$$\text{Dias perdidos} = (\text{n}^\circ \text{ internações c/idade acima 14 anos} \times \text{média permanência})^{56} \times (\text{renda média mensal} \div 30)$$

$$\text{Renda Média Mensal Brasil 1996} = \text{R\$ } 454,00 \text{ (Ver Anexo 2)}$$

$$\text{CD por Caso de Doença (Internação)} = \text{CD Total} \div \text{N}^\circ \text{ Internação}$$

Quadro 12 – Gastos com Internações e Dias Perdidos – Brasil (R\$ 1996)

Nº Internação		Média Permanência	Valor Médio	Gastos Internações	Dias Perdidos
Até 14 anos	> 14 anos				
Esquistossomose					
25,50	112,50	10,63	216,17	317108,42	18097,58
Leptospirose					
29,00	278,67	8,43	235,54	610910,23	35551,05
Febre Amarela					
1,17	3,42	6,08	113,60	3170,26	314,68
Malária					
726,75	1705,83	4,28	82,63	860297,49	110487,75
Leshimaniose					
199,75	138,83	15,28	221,38	1145309,96	32102,68
Dengue					
3,17	39,83	3,45	83,51	12388,71	2079,52
Cólera					
14,83	55,33	6,62	188,36	87485,53	5543,11
Tifo					
73,58	359,00	5,41	105,53	246967,41	29391,81
Amebíase e Doenças Devido a Outros Microorganismos Específicos					
1331,25	141,25	4,48	120,08	792143,74	9576,37

Fonte: Elaboração Própria – Baseado em dados do Anexo 2.

Para obtenção dos gastos ambulatoriais por doença utilizou-se a relação entre o gasto médio por internação no SUS em 1996 (R\$ 266,69) e o gasto médio por atendimento ambulatorial no SUS em 1996 (R\$ 2,72).

⁵⁵ Estes dados encontram-se no Anexo 2.

Quadro 13 – Custo de Doença no SUS (R\$ 1996):

Gastos Internações	Gastos Ambulatoriais	CD Total	Nº Internações	CD por Caso de Doença
Esquistossomose				
317108,42	3234,22	338440,22	138	2452,47
Leptospirose				
610910,23	6230,74	652692,01	307,67	2121,40
Febre Amarela				
3170,26	32,33	3517,27	4,59	766,29
Malária				
860297,49	8774,27	979559,50	2432,58	402,68
Leshimaniose				
1145309,96	11681,14	1189093,78	338,58	3512,00
Dengue				
12388,71	126,35	14594,59	43	339,41
Cólera				
87485,53	892,27	93920,92	70,16	1338,67
Tifo				
246967,41	2518,85	278878,06	432,58	644,69
Amebíase e Doenças Devido a Outros Microorganismos Específicos				
792143,74	8079,16	809799,28	1472,5	549,95

Fonte: Elaboração Própria.

Contudo os dados acima restringem-se ao âmbito hospitalar do sistema previdenciário (SUS). Para contabilizar os custos praticados em clínicas particulares, planos de saúde, etc... utilizaremos a relação entre a taxa de mortalidade dada pelo Sistema de Informações de Mortalidade (SIM = 6,74)⁵⁷ e a taxa de mortalidade no âmbito do Sistema de Informações Hospitalares (SIH/SUS = 1,95); e ainda contabilizaremos a percentagem de óbitos não informada ao sistema de saúde (16,55%), que é tirada da relação entre os óbitos informados (SIM) e aqueles obtidos através dos CENSOS e PNADs do IBGE.

⁵⁶ Uma tabela da PNAD de população ativa por faixa etária (ver Anexo 2) nos mostra que a partir de 14 anos o número de indivíduos ativos é maior que os dos inativos, assim consideramos os dias perdidos de trabalho a partir desta idade.

⁵⁷ Inclui as mortes em estabelecimentos do SUS e em estabelecimentos particulares.

Quadro 14 – Custo de Doença (R\$ 1996):

Doença	CD por Caso de Doença no SUS	$[(6,74 \div 1,95) \times (100 \div 83,45)]$	CD por Caso de Doença Geral
Esquistossomose	2452,47	4,14	10153,23
Leptospirose	2121,40	4,14	8782,60
Febre Amarela	766,29	4,14	3172,44
Malária	402,68	4,14	1667,10
Leshimaniose	3512,00	4,14	14539,68
Dengue	339,41	4,14	1405,16
Cólera	1338,67	4,14	5542,09
Tifo	644,69	4,14	2669,02
Amebíase e Outros Microorg.	549,95	4,14	2276,79

Fonte: Elaboração Própria.

O valor de morbidade resultante de uma determinada doença, ou a disposição a pagar para evitar o aumento do risco associado à doença, inclui os gastos médicos com tratamento da doença, os dias de trabalho perdidos como resultado da doença, os gastos preventivos e a desutilidade associada aos sintomas e oportunidades de lazer perdidas. O método de custo de doença contempla apenas os dois primeiros itens. Para contabilizar os demais utilizaremos a relação DAP/CD de vista no item 2.3.3.10.1. Verificamos que esta encontra-se entre 1,30 e 2,40 e adotaremos o valor médio de 1,85.

Quadro 15 – Disposição a Pagar para Reduzir o Risco de Doença (R\$ 1996):

Doença	CD por Caso de Doença Geral	DAP / CD	DAP por Caso de Doença Geral
Esquistossomose	10153,23	1,85	18783,48
Leptospirose	8782,60	1,85	16247,81
Febre Amarela	3172,44	1,85	5869,01
Malária	1667,10	1,85	1667,10
Leshimaniose	14539,68	1,85	26898,41
Dengue	1405,16	1,85	2599,55
Cólera	5542,09	1,85	10252,87
Tifo	2669,02	1,85	4937,65
Amebíase e Outros Microorg.	2276,79	1,85	4212,06

Fonte: Elaboração Própria.

Uma vez que não dispomos na literatura especializada funções dose-resposta que relacionem o alagamento com o aumento do número de casos de doença de veiculação

hídrica, verificaremos esta variação no número de casos pela variação após o período de construção no número de casos de doença na região do alagamento.

4.1.6. Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos minerais:

O alagamento do reservatório impossibilita o acesso futura as reservas minerais que encontram-se abaixo deste. Assim, deve-se verificar as estimativas de reservas minerais e taxas de exploração na área do alagamento junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral – DPMN e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil – CPRM em suas bases de dados SIGMETA (ocorrências de depósitos minerais e reservas), SIGOURO (registros de garimpos, depósitos minerais e reservas) e no SISON (Sistema de Informações de Sondagens Hidrogeológicas).

Para valoração destas perdas, uma vez que dispomos do preço de mercado dos recursos, um método que pode ser utilizado é o da produtividade marginal. Entretanto, uma vez que os recursos minerais são produtos exauríveis, que podem não estar disponíveis às gerações futuras, e que o consumidor tem uma preferência positiva no tempo (o consumo presente vale mais que o futuro), é adequado o uso de uma abordagem que proporcione uma eficiência intertemporal (distribuição do consumo do recurso no tempo). Assim, para o cálculo do valor presente da perda do recurso, utilizamos a abordagem do custo de uso⁵⁸.

Esta abordagem do custo de uso assume que os recursos exauríveis (ativos não produzíveis) venham a ser substituídos por ativos produzidos a fim de garantir rendimentos (manter constante o nível de geração de bens e serviços econômicos) para as gerações futuras. Isto é, o desinvestimento causado pelo esgotamento é compensado por investimentos em bens de capital que tenham a mesma capacidade de gerar receitas no futuro. O custo de uso ou VP do uso é fornecido pela equação:

$$U = RL \div (1 + R)^N$$

Onde:

- R – é a taxa média de retorno de capital da economia (%) (2 a 4% em economias ricas e 8 a 16% em economias em desenvolvimento),
- N – é o tempo de esgotamento do recurso considerando o início e a taxa média da exploração (em anos). No caso de reservas em exploração, este é obtido

pela razão entre a reserva base do minério (soma das reservas medida e indicada pelo DNPM), e a quantidade extraída de minério bruto observada no mesmo ano, ou seja, é a vida útil da reserva caso a exploração permanecesse no nível observado no ano corrente,

- RL – é o benefício líquido ou a receita líquida da exploração do recurso mineral em unidades monetárias (R\$). Esta é dada por:

$$RL = RB - (CI + RFT + RCF)$$

Onde:

- ◆ RB – é a receita bruta em bases monetárias (R\$), obtida nos anuários do DNPM,
- ◆ CI – é o valor de consumo intermediário (R\$), obtido de séries de despesas com operações industriais,
- ◆ RFT – é a remuneração do fator trabalho (R\$), obtida do total de salários para indústria extrativa mineral, e
- ◆ CF – é o retorno de capital para um estoque fixo acumulado (de capital) para a realização da produção em bases monetárias (R\$), obtida da construção de uma série histórica de estoques de capital para cada minério através do método de inventário perpétuo, utilizando dados de investimento em prospecção e extração dos relatórios anuais de lavra do DNPM.

4.1.7. Impactos das emissões de gases de estufa sobre a mudança do clima:

As emissões de gases de estufa de hidrelétricas são oriundas de decomposições bacterianas aeróbicas e anaeróbicas de matéria orgânica e de outros processos inorgânicos nos reservatórios, produzindo CO₂ e CH₄. Inicialmente acreditava-se que a origem do carbono emitido era exclusivamente da biomassa alagada existente antes do enchimento do reservatório⁵⁸. Como resultado da decomposição aeróbica é formado CO₂ e da decomposição anaeróbica é formado CH₄ e SO₂, e em ambos os casos consideramos as emissões como adicionais, pois se não ocorresse o alagamento por ação antrópica, estas não seriam formadas. Uma vez que a biomassa alagada é finita, estas emissões decairiam com o tempo.

⁵⁸ Baseado em SERÔA DA MOTTA (1995 e 1998).

⁵⁹ Teoria adotada em estudos de PINGUELLI ROSA, SCHAEFFER e SANTOS de 1994 e 1996.

Medições realizadas recentemente em reservatórios brasileiros (Balbina, Samuel, Tucuruí, Itaipu, ...) por um grupo de pesquisa da COPPE⁶⁰, bem como em outros países como Canadá (UQAM), através dos métodos de bolha (funil – capta maior parcela de CH₄) e difusão (câmara de difusão – capta maior parcela de CO₂) mostraram que estas emissões independeriam da idade do reservatório (início de decaimento pela biomassa alagada e depois estabilização). Assim, o carbono seria originado da biomassa pré-existente alagada, da matéria orgânica carregada pela bacia hidrográfica ao reservatório, da matéria orgânica formada no reservatório, a partir do aporte de nutrientes (N,P,K) carregados da bacia hidrográfica (processo de eutrofização), e de materiais inorgânicos⁶¹ carregados da bacia hidrográfica, que por reações químicas consomem O₂ gerando CO₂. No caso da biomassa alagada as emissões de CH₄ e CO₂ são adicionais. Já no caso dos materiais carregados, as emissões de CH₄ podem ser consideradas como adicionais, pois se não houvesse barramento a matéria orgânica seria decomposta aerobicamente⁶². Já as emissões de CO₂ apenas em parte podem ser consideradas adicionais, pois se não houvesse barramento e a mudança do regime hídrico de lótico para lântico, os nutrientes e as matérias orgânica e inorgânica seriam em parte depositados em alguns trechos da bacia com menor velocidade, gerando matéria orgânica (eutrofização) e emissões naturais, mas em parte seriam encaminhados e fossilizados em águas profundas dos oceanos.

Para valoração deste impacto quantificaremos as emissões adicionais resultantes do reservatório e utilizaremos o preço de mercado⁶³ para a quantidade de carbono evitada através do método da produtividade marginal.

Para quantificar as emissões utilizaremos os resultados de Santos (2000) para hidrelétricas brasileiras que são apresentados no quadro 16, considerando todas as emissões como adicionais:

⁶⁰ Coordenados por PINGUELLI ROSA e SANTOS.

⁶¹ Como exemplo citamos o CaCO₃.

⁶² Com o barramento estas são depositadas em regiões mais profundas, pouco aeradas (ventos, obstáculos e fotossíntese) sendo decompostas anaeróbicamente.

⁶³ No item 4.2.2 falaremos mais detalhadamente sobre este preço de mercado de carbono evitado.

Quadro 16 – Emissões médias para hidrelétricas brasileiras

Gás	Emissão (mg / m ² x dia)
CO ₂ – Dióxido de Carbono	356,88
CH ₄ – Metano	18,29

Fonte: SANTOS 2000

Cabe ressaltar que o volume de emissões é apenas um indicador quantitativo da presença dos gases na atmosfera, e que diferentes gases de estufa possuem diferentes tempos de decaimento (permanência na atmosfera) e diferentes capacidade de forçamento radioativo (aquecimento cumulativo). Assim, para ponderar estes fatores utilizaremos o Potencial de Aquecimento Global (GWP), que é a integração no tempo do forçamento radioativo de uma emissão instantânea de 1 Kg de um dado gás traço, relativo a 1 Kg de um gás (CO₂) tomado como referência (IPCC 1990):

$$GWP(x) = \frac{\int_0^{TH} ax \cdot x(t) \cdot dt}{\int_0^{TH} ar \cdot x(t) \cdot dt}$$

Onde:

- TH – é o horizonte de tempo no qual o cálculo é considerado,
- ax – é o forçamento radioativo relacionado a mudança do clima do incremento de uma unidade do gás em questão na concentração atmosférica,
- x(t) – é o decaimento na concentração ao longo do tempo de um pulso de gás injetado na atmosfera,
- ar - é o forçamento radioativo relacionado a mudança do clima do incremento de uma unidade do gás de referência na concentração atmosférica,

O quadro 17 nos fornece os valores de GWP utilizados e melhorados pelo IPCC ao longo do tempo. No âmbito desta tese utilizaremos os valores de base de massa do IPCC 1995.

Quadro 17 – Potencial de Aquecimento Global do CH₄ e N₂O em relação ao CO₂

Base	Referência	Horizonte de Tempo		
		20	100	500
CH ₄ – Massa	IPCC 1990	63	21	9
	IPCC 1992	35	11	4
	IPCC 1994	62	24,5	7,5
	IPCC 1995	56	21	6,5
CH ₄ – Molar	IPCC 1990	22,9	7,6	3,2
	IPCC 1992	12,7	4,0	1,4
	IPCC 1994	22,5	8,9	2,7
	IPCC 1995	20,1	7,3	2,6
N ₂ O – Massa	IPCC 1990	270	290	190
	IPCC 1992	-	-	-
	IPCC 1994	290	320	180
	IPCC 1995	280	310	170

Fonte: PINGUELLI ROSA, SCHAEFFER e SANTOS 1996, e SANTOS 2000

4.1.8. Impactos das fases de construção e operação sobre as atividades recreacionais:

O alagamento do reservatório provoca variações nas áreas para atividades recreacionais, temos o alagamento de locais que anteriormente eram utilizados para pesca, banho, caminhada, esqui, caça, e a criação de um novo local (o lago) para a prática de esportes náuticos. Para valoração dos impactos sobre as atividades recreacionais podemos utilizar o método do custo de viagem para uso destas atividades, o método de preços hedônicos com a abordagem da variação do valor da propriedade com ou sem a disponibilidade destas atividades recreacionais, e o método de valoração de contingente para uso destas atividades.

4.1.9. Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos culturais (incluindo e estética) e arqueológicos:

Com o alagamento do reservatório podemos ter perdas estéticas como o desaparecimento de quedas d'água, remansos e outras paisagens que eram desfrutadas. Também perdas de sambaquis, objetos e outros artefatos arqueológicos enterrados que serviriam de base para remontar a história, estrutura social, econômica e cultural de civilizações pré-existentes na região (no Brasil principalmente comunidades indígenas). E ainda perdas de dados históricos e culturais das cidades existentes antes do alagamento, como livros de registros, plantas, dados de arquivos públicos, etc...

Poderíamos contabilizar os custos de relocação dos livros de registro, plantas, ... e ainda os custos de escavações para resgate de artefatos arqueológicos, se estas ações fossem executadas, contudo, nem todo o valor perdido seria captado.

Para valorar estas perdas o melhor método a ser utilizado é o de valoração de contingente, pois capta os valores de existência destes bens estéticos, culturais e arqueológicos perdidos.

4.1.10. Impactos das fases de construção e operação sobre os ecossistemas terrestre e aquáticos, e sobre a biodiversidade:

Podemos entender a biodiversidade como o conjunto das espécies e das variedades dentro das espécies existentes no mundo. Esta pode ser dividida em três níveis: diversidade genética, diversidade de espécies e diversidade de ecossistemas.

O alagamento traz grandes alterações para a comunidade biótica ali existente, e mesmo que contabilizássemos custos de realocação fauna e flora, haveriam distúrbios irreversíveis. Poderíamos tentar contabilizar ainda o valor de opção para uso futuro em inovações no âmbito da biotecnologia (fins medicinais e agropecuários), mas é difícil isolar atributos genéticos que seriam aproveitados futuramente pelas empresas, e definir os valores presentes destes atributos. Assim, a melhor maneira de valorar estas perdas (não preservação da biodiversidade) é aquela capte, além de outros, o seu valor intrínseco ou de existência.

Logo, o método adequado a ser empregado para contabilizar estas perdas é o método da valoração de contingente, pois é o único que capta estes valores. É interessante ainda que os questionários sejam passados também para pessoas de outras localidades que não terão uso direto ou indireto de tais benefícios, mas que obteriam satisfação com a preservação da natureza.

4.1.11. Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes):

Ocorrem acidentes do trabalho durante as fases de construção e operação das usinas e das linhas de transmissão. Podemos obter estatísticas de acidentes no setor elétrico através de dados do Grupo de Intercâmbio e Difusão de Informações sobre Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho (GRIDIS) da Eletrobrás, e ainda nos

Anuários Estatísticos da Previdência Social, capítulo 30 (Acidentes do Trabalho)⁶⁴, contudo nesta fonte os dados estão desagregados segundo a classificação nacional de atividades econômicas, e existem várias discriminações relacionadas a um mesmo código, o que introduz um grande viés no caso de sua utilização. Podemos observar no anexo 3 as estatísticas de acidente e no quadro 18 a síntese destes dados.

Quadro 18 – Acidentes de Trabalho – GRIDIS

Etapa	Nº Ac. Típicos c/ Afast. ÷ ano	Dias Afst. Méd. ÷ ano	Nº Mortes ÷ ano	Nº Ac. Típicos s/ Afast. ÷ ano	Nº Ac. Trajeto c/ Afast. ÷ ano
Construção	216,89	22,18	1,33	62,50	26,00
5 anos constr. ÷ 50 anos VU	21,689		0,133	6,25	2,6
÷ MWh x ano	$0,11138 \times 10^{-6}$		$0,00068 \times 10^{-6}$	$0,03209 \times 10^{-6}$	$0,01335 \times 10^{-6}$
Etapa	Nº Ac. Típicos c/ Afast. ÷ (MWh x ano)	Dias Afastamento Típico Médio	Nº Mortes ÷ (MWh x ano)	Nº Ac. Típicos s/ Afast. ÷ (MWh x ano)	Nº Ac. Trajeto c/ Afast. ÷ (MWh x ano)
Geração / Transmissão	$3,82514 \times 10^{-6}$	21,38	$0,05248 \times 10^{-6}$	$2,14650 \times 10^{-6}$	$0,81007 \times 10^{-6}$
Distribuição	$8,21740 \times 10^{-6}$	22,56	$0,17003 \times 10^{-6}$	$3,38536 \times 10^{-6}$	$0,88197 \times 10^{-6}$
Outros	$3,36128 \times 10^{-6}$	21,26	$0,03138 \times 10^{-6}$	$1,35568 \times 10^{-6}$	$1,35697 \times 10^{-6}$
Total	$15,51519 \times 10^{-6}$	21,98472	$0,25457 \times 10^{-6}$	$6,91964 \times 10^{-6}$	$3,06236 \times 10^{-6}$

Fonte: Elaboração própria com dados do Anexo 3.

Para o contabilização dos danos ambientais adotaremos o valor de mortalidade definido no item 2.6.6.1. Os valores de morbidade estão apresentados no quadro 19 e são calculados conforme as expressões:

$$CD = \text{gastos com tratamento} + \text{valor dos dias perdidos de trabalho}$$

$$\text{Gastos com tratamento} = (\text{gasto médio internação SUS} + \text{gasto médio ambulatorio SUS}) \\ \times \text{dias de afastamento}$$

$$\text{Dias perdidos} = \text{dias de afastamento} \times (\text{renda média mensal} \div 30)$$

$$\text{Renda média mensal Brasil 1996} = \text{R\$ } 454,00$$

$$\text{Gasto médio internação SUS 1996} = \text{R\$ } 266,69$$

$$\text{Gasto médio ambulatorial SUS 1996} = \text{R\$ } 2,72$$

$$\text{Dias afastamento acidentes trajeto} = \text{média permanência acidentes transporte SUS 1996} \\ = 7,18 \text{ dias}$$

$$DAP/CD = 1,85$$

⁶⁴ Estes dados são baseados nas comunicações de acidentes do trabalho (CAT) após 1996, e nos

Quadro 19 – Custos de Morbidade por Casos de Acidente – R\$ 1996

Tipo Acidente	Gastos Tratamento	Gtos Dias Perdidos	CD por Acidente	DAP por Acidente
Típico c/ Afastam.	5.922,90	332,70	6.255,60	11.572,87
Típico s/ Afastam.	2,72	0	2,72	5,03
Trajetos c/ Afastam.	1.934,36	108,66	2.043,02	3.779,59

Fonte: Elaboração própria

4.2. Geração Termelétrica:

4.2.1. Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes):

Ocorrem acidentes do trabalho durante as fases de prospecção, extração, construção e operação das plataformas, gasodutos, usinas e das linhas de transmissão. Os dados acidentes do trabalho nas etapas desde a prospecção até a geração nas usinas termelétricas poderiam ser obtidas junto a estatísticas de acidentes da Petrobrás, contudo, após a abertura de mercado proibiu o acesso a suas bibliotecas particulares. Como o dados dos Anuários Estatísticos da Previdência Social são bastante enviesados, optamos por adotar os dados de acidentes utilizados pela Comissão Européia para o ciclo de combustível de uma térmica à gás ciclo combinado, ainda que a cultura e relações de trabalho na Europa e no Brasil apresentem diferenças, e estes dados não sejam os ideais. As estatísticas são apresentadas no quadro 20.

Quadro 20 – Taxa de Acidentes do Trabalho no Ciclo de Combustível de Termelétricas à GN CC⁶⁵

Etapa	Taxa de Acidente (Nº ÷ TWh)		
	Acid. Fatais (Mortes)	Acid. Graves	Acid. Leves
Exploração Offshore	0,00016	0,0038	0,026
Operação Offshore	0,00048	0,0689	0,4819
Construção Gasoduto Offshore e da Usina Tratamento	0,0022	0,068	0,32
Construção Gasoduto Onshore	0,00033	0,010	0,049
Operação da Usina de Tratamento	0,000069	0,0025	0,026
Total	0,003239	0,1532	0,9029

Fonte: EC 1995

Para o contabilização dos danos ambientais adotaremos o valor de mortalidade definido no item 4.1.5.1. Para os custos de acidentes, adotaremos os custos de acidentes da Comissão Européia (limite inferior do intervalo), pois não dispomos da média de dias

boletins estatísticos de acidente do trabalho (BEAT) até 1995.

⁶⁵ No original existia a taxa de acidentes das etapas de operação e desmontagem da usina de geração após sua vida útil, que não foram consideradas para uniformização com a hídrica. A EC considera acidentes leves aqueles com menos de três dias de afastamento. A EC considerou no item construção da planta de geração sua vida útil de 30 anos.

de afastamento específicas destas etapas. Contudo, transferiremos estes dados da Europa para o Brasil, no quadro 21, conforme o procedimento apresentado no item 4.1.5.1 (quadro 10).

Quadro 21 – Custos Acidentes Transferidos da Europa para o Brasil – US \$ 1992

Acidente	Acid. Grave		Acid. Leve	
	Europa	Brasil	Europa	Brasil
e = 1 / Fator 1	35000,00	10754,21	525,00	161,31
e = 1 / Fator 2		4419,56		66,29
e = 0,54 / Fator 1		18506,46		277,60
e = 0,54 / Fator 2		10012,63		150,19

Fonte: Elaboração própria a partir de EC 1995

Para as etapas de construção da usina de geração, geração, transmissão e distribuição utilizaremos as estatísticas da Eletrobrás apresentadas no quadro 18, bem como os custos do quadro 19, adaptados ao período de construção e a vida útil das termelétricas.

4.2.2. Impactos das emissões de gases de estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) das fases de extração / operação da plataforma de gás e da geração de energia sobre os homens, ecossistemas terrestres e aquáticos, e os sistemas não vivos:

Como foi visto no item 3.4.2 as mais significativas emissões de gases de estufa de termelétricas a gás natural gerando a ciclo combinado, no seu ciclo de combustível, são as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O durante a etapa de operação e extração do gás na plataforma, e de CO₂ durante a fase de geração de energia. Segundo a Comissão Européia (EC 1995) as emissões de gases de estufa médias de uma térmica à gás durante seu ciclo de combustível são aquelas apresentadas no quadro 22.

Quadro 22 – Emissões de GEE de térmica à GN CC em seu ciclo de combustível

Gás de Efeito Estufa	Emissão em g / kWh ⁶⁶		
	Geração	Demais Fases	Total
CO ₂	393	8,22	401,22
CH ₄	0	0,28	0,28
N ₂ O	0,013	0,001	0,014

Fonte: EC 1995.

⁶⁶ Poderíamos considerar também 0,71 g/kWh de NO_x (da queima do gás) que por um lado irá originar como poluente secundário o ozônio e por outro produzirá íons OH que reduzem o tempo de vida na atmosfera do metano. Como o tempo de vida do ozônio na atmosfera é muito baixo (0,1 a 0,3 anos – IPCC96) e IPCC ainda não chegou a um valor sobre o potencial de aquecimento global do ozônio não contabilizaremos estas emissões.

A principal fonte de emissão de CO₂ é a combustão do gás na geração de energia (393 g/kWh dependendo da eficiência térmica da planta). Na fase de extração estas emissões resultam da queima do gás nos flares (0,2 g/kWh) e das turbinas para geração da energia que é consumida na plataforma (6 g/kWh). Na fase de transporte estas resultam de vazamentos nos gasodutos marítimos e terrestres (0,02 g/kWh) e da combustão do em turbinas nas estações de compressão (2 g/kWh). Existem ainda as emissões das fases de construção e exploração, bem como aquelas oriundas do transporte de pessoal para às plantas e para a plataforma, mas ainda não existem estudos conclusivos sobre o valor destas taxas. As emissões de CH₄ são oriundas de vazamentos ou liberações voluntárias durante a extração (0,11 g/kWh), o tratamento (0,11 g/kWh) e o transporte por gasodutos (0,06g/kWh). Existem ainda quantidades desprezíveis que saem pelo sistema de exaustão da planta de geração devido a queima incompleta do combustível. A principal fonte de N₂O é a planta de geração (0,013 g/kWh), mas existem também aquelas oriundas dos compressores de gasodutos e de flares do tratamento (0,001 g/kWh). (EC 1995)

Uma outra forma de se obter as emissões da fase de geração de energia é descrita a seguir. Uma vez que o poder calorífico superior do gás natural é aproximadamente 11.000 Kcal/Kg GN, temos $10^6/11.000$ mg GN/Kcal. Como a composição do gás natural tem aproximadamente 65% de carbono, temos $0,65 \times 10^6/11.000 = 59,09$ mg C / Kcal. Como o peso molecular do carbono é 12 e do CO₂ é 44, temos $(44/12) \times 59,09 = 216,67$ mg CO₂ / Kcal. Como um kWh é aproximadamente 860,7 Kcal, temos $860,7 \times 216,67 = 186.485$ mg CO₂ / kWh = 186,5 g CO₂ / kWh. Se considerarmos o rendimento líquido, para o poder calorífico superior, adotados por PINGUELLI ROSA e SCHECHTMAN (1996) de 38,1% para ciclo a vapor; 30,1% para o ciclo a gás, e 42,7% para o ciclo combinado, teríamos respectivamente para estes ciclos termodinâmicos as emissões de 492 g CO₂ / kWh (vapor), 620 (gás) g CO₂ /kWh, e 437 (combinado) g CO₂ /kWh. O estudo da Comissão Européia (1995) chegou a uma emissão para o ciclo combinado de 393 g CO₂ /kWh, pois adotou um rendimento líquido de 47,45%, rendimento este compatível com os modelos mais novos de usinas a ciclo combinado. Cabe ressaltar que os rendimentos adotados por PINGUELLI ROSA e SCHECHTMAN para os ciclos a vapor e a gás estão compatíveis com o estado da arte atual.

Como foi visto no item 4.1.7, o volume de emissões é apenas um indicador quantitativo da presença dos gases na atmosfera, e diferentes gases de estufa possuem diferentes tempos de decaimento (permanência na atmosfera) e diferentes capacidade de forçamento radioativo (aquecimento cumulativo). Assim, para ponderar estes fatores utilizaremos o Potencial de Aquecimento Global (GWP), conforme os valores dados no quadro 16.

Obtidas as emissões de estufa poderíamos valorar os impactos sobre os homens, ecossistemas terrestres e organismos não vivos através da contabilização dos danos que ocorreriam caso fossem mantidos os níveis atuais de emissão e ocorresse o aumento da temperatura e precipitação média, causando aumento do nível do mar (problema para as terras baixas), redução do gelo polar, translação do sistema de produção (agricultura, pecuária, ...), problemas de abastecimento de água (maior consumo pelo calor), problemas com a saúde (aumento da proliferação de vetores e doenças pelo calor), etc ...

Contudo existem grandes incertezas associadas às estimativas dos impactos, às interações entre as categorias de impactos (p. ex. agricultura e recursos hídricos), e ao cenário de desenvolvimento mundial no horizonte de dezenas de anos. Assim, não é aconselhável a adoção desta metodologia. Apenas como exemplo o quadro 23 nos apresenta custos totais estimados de danos em diversos setores econômicos (como agricultura, florestas, água e energia) causados pelo aquecimento global.

Quadro 23 – Custos totais dos danos em diversos setores causados pelo aquecimento global (1 ECU \approx 1,25 US \$)

Estudo	Danos (milhões ECU / kWh) sob várias taxas de desconto			
	0%	1%	3%	10%
Cline (1992)	6,4	-	1,0	0,3
Fankhauser (1993)	4,5	-	0,7	0,2
Tol (1995)	-	7,9	5,3	1,4
Hohmeyer & Gärtner (1992)	2160	-	350	105

Fonte: EC 1995

Uma Segunda forma de se valorar estes impactos seria pelo método das despesas de prevenção / mitigação, obtendo o valor pelo qual as pessoas estariam dispostas a ter despesas visando a mitigação ou eliminação do dano real. Isto é, tomar-se-ia os custos de abatimento de gases de efeito estufa (p. ex. custo de substituição de uma térmica a carvão por uma a GN) como uma estimativa para os danos reais (que ainda não

ocorreram) caso não se tomasse estas medidas. Entretanto existem diversas medidas de abatimento de carbono com diversos custos.

Assim, o método que adotaremos nesta tese é o da produtividade marginal, utilizando o preço de mercado de emissões evitadas de carbono, resultante do comércio que pode ocorrer devido aos vários custos de abatimento de carbono e a mecanismos legais como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo que permitem este comércio. Adotaremos mais especificamente o custo da tonelada de carbono evitada do quadro 24, que é baseada no Prototype Carbon Fund (PCF) do Banco Mundial.

Quadro 24 – Preço de mercado de emissões evitadas de carbono do PCF

US \$ 20,00 / t C

Fonte: Banco Mundial

Em 18 de janeiro de 2000 o Banco Mundial lançou o Prototype Carbon Fund (PCF) que é o primeiro mercado mundial baseado nos mecanismos do Protocolo de Kioto para resolver o problema da mudança do clima. Mais especificamente o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM) pelo qual os países desenvolvidos, visando cumprir seus compromissos de redução podem para promover a transferência financeira e de tecnologias ambientalmente “amigas” para os países em desenvolvimento, se esta for a forma de maior custo efetividade. O PCF foi estabelecido com a contribuição de alguns governos e companhias privadas, e é a iniciativa pioneira de criação de um mercado de redução de emissões. Este fundo investirá em tecnologias limpas em países em desenvolvimento, reduzindo sua emissões de gases de estufa. Estas emissões serão verificadas e certificadas por entidades independentes, e então transferidas para o fundo dos contribuintes na forma de certificados ou dinheiro. Até janeiro de 2000 quatro governos (Finlândia, Noruega, Suíça e Holanda) e nove companhias (cias elétricas japonesas de Tokyo, Chubu, Chugoku, Kyushu, Shikoku e Tohoku; a Electrabel da Bélgica, a Mitsubishi e a Mitsui) ingressaram no PCF com contribuição total de US\$ 85 milhões. Estão discutindo o ingresso a Statoil e a Norskhydro da Noruega, a Gaz de France da França, o Environment Bank and Exchange (EBX) dos EUA, e a SK Power da Dinamarca. O fundo está limitado a US\$ 150 milhões e começa a operar em abril de 2000.

Segundo o Banco Mundial existem várias oportunidades de reduzir as emissões dos gases de estufa nos países em desenvolvimento ao custo de US\$ 5 a 15 por tonelada

de carbono, em contrapartida as firmas de economias avançadas tem um custo de abatimento marginal de no máximo US\$ 50, o que propicia o comércio com ganhos para ambos os lados. Segundo Ken Newcombe, administrador do PCF, este esforçar-se-á para negociar preços no entorno de US\$ 20 a tonelada de carbono (US\$ 5 a tonelada de CO₂), testando então as regulações e os riscos de mercado para os contribuintes e simultaneamente incentivando a expansão de projetos, a partir dos retornos. Durante os próximos três anos o Banco Mundial irá investir em 20 ou mais projetos, com foco inicial em tecnologias de energia renovável tais como eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa. Até janeiro de 2000, mais de 20 países demonstraram interesse em propor projetos ao PCF.

4.2.3. Impactos das emissões atmosféricas da fase de geração de energia sobre os homens e os ecossistemas terrestres:

Os poluentes aéreos emitidos por termelétricas são transportados pelo vento e diluídos por turbulência atmosférica até eles serem depositados no entorno tanto por difusão turbulenta (deposição seca) quanto por precipitação (deposição úmida). Além disto parte destes poluentes primários participam de reações químicas na atmosfera para formar poluentes secundários, como o ácido nítrico, o nitrato aerossol e o ozônio. Para obtermos os números de casos de doença e morte e valorarmos os custos ambientais associados às emissões atmosféricas, devemos obter a concentração dos poluentes ao nível do solo, isto é, a concentração de poluentes que é absorvida pelas pessoas.

Assim, para determinação dos custos ambientais associados devemos:

- Determinar as emissões atmosféricas emitidas pelas fontes pontuais (emissões primárias), a partir do consumo de combustível ou da energia gerada;
- Determinar a concentração do poluente ao nível do solo, utilizando modelos de dispersão que simulem o transporte e as reações químicas destes poluentes na atmosfera, a partir das quantidades emitidas e das condições meteorológicas existentes;
- Determinar o risco individual de morbidade e mortalidade, utilizando dados de vulnerabilidade ou funções dose-resposta, a partir da concentração dos poluentes ao nível do solo;

- Determinar o risco coletivo, utilizando dados demográficos do local (estes são multiplicados pelo risco individual)⁶⁷;
- Determinar o custo ambiental, utilizando valores de morbidade e mortalidade obtidos pelos métodos de valoração do valor da vida; ou valores obtidos por outros métodos no caso de ecossistemas terrestres.

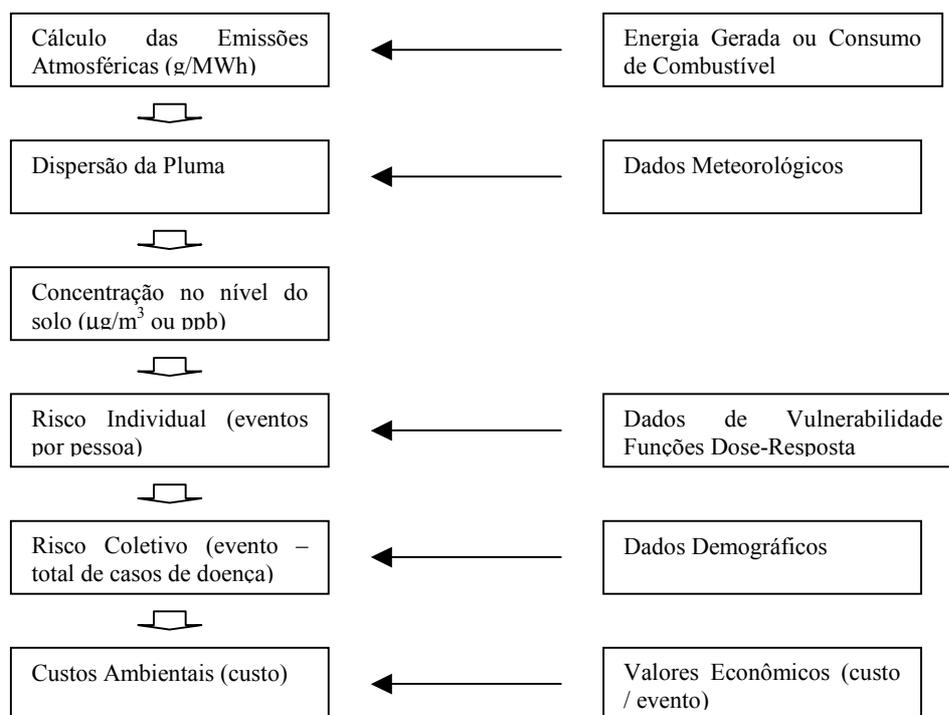


Figura 8 – Fluxograma para determinação dos custos ambientais de emissões atmosféricas

4.2.3.1. Cálculo das emissões atmosféricas:

Numa análise de ciclo de combustível, as emissões de uma termelétrica dependem do tipo de combustível utilizado, da fonte e composição do combustível utilizado, e das tecnologias utilizadas para transporte, tratamento e geração. Conforme foi visto no item 3.4.2, no caso do ciclo de combustível com uma térmica a gás ciclo combinado temos como emissões primárias o CO₂, o CH₄, o N₂O, os NO_x, e desprezíveis quantidades de materiais particulados, SO_x, CO, outros orgânicos voláteis, cloro e traços de metais. Valores médios destas emissões foram apresentados no quadro 20.

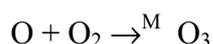
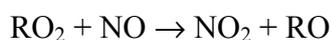
⁶⁷ Adota-se a premissa que a população está igualmente distribuída na região.

Uma vez que as quantidades de particulados primários, de CO e de SO_x são desprezíveis, e o CH₄ é apenas um asfíxiante, sem qualquer efeito tóxico sobre a saúde humana, os impactos sobre o homem e os ecossistemas terrestres são provocados pelo ozônio e pelos particulados secundários, HNO₃ e nitratos na forma de aerossóis (deposição úmida ácida), que são poluentes secundários formados por transformações químicas na atmosfera.

O ozônio decorrente de termelétricas é formado a partir da mistura de compostos orgânicos voláteis (hidrocarbonetos e solventes) e óxidos de nitrogênio na presença da luz solar⁶⁸. Na verdade estas formam uma mistura de poluentes secundários chamada de smog fotoquímico (óxidos fotoquímicos), cujo ozônio é o principal componente (80 a 90%) e indicador⁶⁹.

A formação do ozônio é criticamente influenciada por condições climáticas específicas e requer grandes quantidades de certos precursores, os quais freqüentemente se originam de outras fontes de poluição além dos limites da fonte em estudo. Para uma formação de escala regional os fatores mais importantes são: luz solar para catalisar as reações químicas, baixa velocidade de ventos (0 a 5 m/s) para inibir a dispersão, confinamento às camadas mais baixas para permitir o crescimento dos precursores, e altas temperaturas do ar (acima de 20° C) para produzir a evaporação dos compostos orgânicos voláteis e para promover certas reações químicas. Estas condições normalmente estão associadas à inversões térmicas (EC 1995).

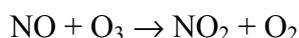
A principal rota de formação do ozônio é dada pelo processo de conversão do NO em NO₂, o qual é subseqüentemente fotolisado para formar NO e um átomo de oxigênio, o qual se combina com uma molécula de oxigênio gasoso para formar o ozônio.



Onde, RO₂ é HO₂ ou um radical de peróxido orgânico formado da oxidação de hidrocarbonetos, hv é radiação (280 < λ < 430 nm) e M é uma molécula do tipo N₂ ou

⁶⁸ Existem 3 fontes de ozônio, a principal delas está na estratosfera, onde a produção de ozônio ocorre com a reação fotoquímica da luz ultravioleta com o oxigênio do ar. Este também é produzido por relâmpagos e pelo processo descrito anteriormente.

O₂ a qual atua dissipando a energia emitida pela reação a fim de prevenir a decomposição do O₃. Contudo o ozônio também é destruído pela reação:



Assim, poderíamos dizer que a concentração de do ozônio poderia ser dada pela seguinte relação:

$$[\text{O}_3] = ([\text{NO}_2] \times k_2) \div ([\text{NO}] \times k_4)$$

Onde k_2 é a taxa de fotólise de NO₂ e k_4 é a taxa da reação de NO em O₃. Logo, nos estágios iniciais da pluma oriunda da usina, onde $[\text{NO}_2] \div [\text{NO}]$ é baixo, a [O₃] permanece baixa, já a grandes distâncias (centenas de quilômetros) a pluma pode Ter um incremento positivo de ozônio.

As condições meteorológicas e de concentração de precursores ideais tendem a ser restritas às regiões urbanas e industriais, estando inclusive mais relacionadas às emissões veiculares. O ozônio aí formado é modelado para condições de atmosferas altamente poluídas, o que normalmente não é o caso das emissões de termelétricas (EC 1995).

O HNO₃ e nitrato aerossóis também são formados a partir das transformações químicas do NO_x, conforme a figura 9. O óxido nítrico produz o dióxido de nitrogênio que origina o ácido nítrico, que se combina com a amônia aerossol, originando o nitrato aerossol, sendo que estes são depositados nas vias seca e úmida.

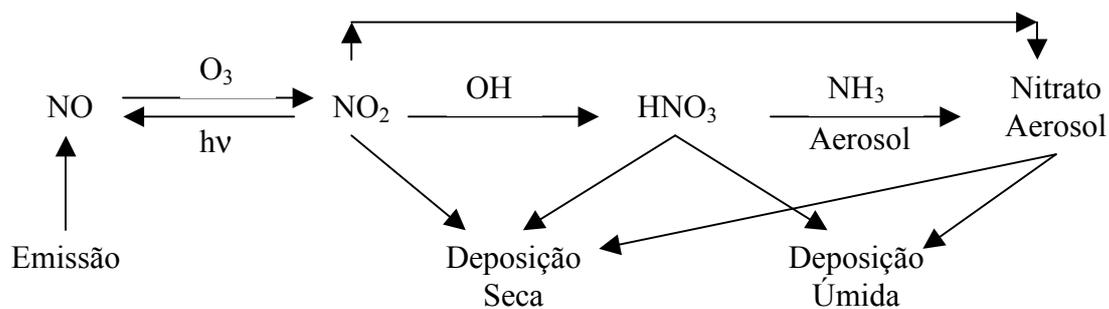


Figura 9 – Química atmosférica das emissões de NO_x.

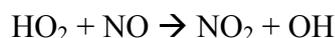
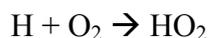
Uma vez que não existe nitrogênio na composição do gás natural, a única forma dos NO_x serem formados é pela rota térmica, a partir do nitrogênio da atmosfera. Este processo é muito dependente da temperatura, que precisa estar acima de 1800 K (1527 °C) antes que significantes quantidades de NO sejam formadas, e a taxa de reação dobra

⁶⁹ O smog é composto por O₃, H₂O₂, e peróxidoacetilnitrato (PAN – CH₃COO₂NO₂)

a cada aumento de 40 K. Além disto esta taxa aumenta com a concentração de oxigênio atômico na chama ($[O_2]^{1/2}$). As reações são:



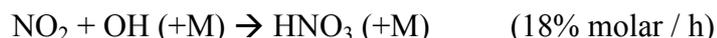
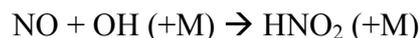
O NO_2 é formado nos gases pós-chama, durante o resfriamento pela interação com o ar frio. A quantidade de NO_2 é de aproximadamente 5% do total de NO_x de fontes estacionárias e as reações são:



Uma vez na atmosfera ocorrem várias formas de oxidação e a concentração de NO_2 iguala-se ou excede a de NO (CLARKE, 1992). O NO pode ser oxidado por uma variedade de moléculas e radicais livres, incluindo O_2 , O_3 , H_2O_2 , HO_2 , NO_3 , RO_2 e $RCOO_2$ ⁷⁰, sendo que as taxas de reação de O_2 , H_2O são muito lentas para serem importantes, e as de O_3 e HO_2 são extremamente rápidas. As reações são:



Os óxidos de nitrogênio reagem com radicais de OH formando HNO_2 e principalmente HNO_3 segundo as reações:



O HNO_3 é removido da atmosfera por deposições seca e úmida. Na parcela de deposição úmida, este rapidamente se dissolve e dissocia nas gotas de água da atmosfera formando os íons nitrato (NO_3^-) e hidrônio (H^+ ou H_3O^+) aerossóis, que são depositados por via úmida⁷¹ (RADOJEVIC, 1992). Assim, devido ao aumento da concentração de H^+ , o pH torna-se ácido.

⁷⁰ O PAN é formado por $NO_2 + RCOO_2 \rightarrow RCOO_2NO_2$

⁷¹ Os NO_x também se dissolvem em quantidades muito menores, não sendo reações significantes na escala de tempo das nuvens para a acidificação.

A principal substância na atmosfera que neutraliza os efeitos provocados pelo HNO_3 (e também pelo H_2SO_4) é a amônia (NH_3)⁷². Esta é uma substância gasosa que entra na atmosfera originada da uréia animal e da decomposição de materiais orgânicos nitrogenados⁷³. Uma vez na atmosfera, uma pequena parte deste gás se oxida em óxidos de nitrogênio, e o restante é removido desta através de deposições seca e úmida. Na parcela depositada por via úmida, a amônia é rapidamente hidrolisada nos íons NH_4^+ e OH^- . Assim, com o aumento da concentração dos íons OH^- há uma diminuição do pH da solução aquosa⁷⁴ e a formação do nitrato de amônia (NH_4NO_3).

Normalmente a concentração de NH_3 é suficientemente grande para neutralizar quase que totalmente o HNO_3 e outros compostos ácidos na forma de aerossóis, caso a concentração dos ácidos supere a da amônia, os aerossóis depositados por via úmida tornam-se ácidos⁷⁵.

Em relação a parcela de deposição úmida, existem duas possibilidades de destino das nuvens: ou estas evaporam e as substâncias dissolvidas retornam ao ar, ou estas agrupam-se em gotas ou cristais, absorvem mais compostos, e precipitam na forma de chuvisco ou chuva sobre a superfície terrestre, é este processo que é chamado de deposição úmida. Esta precipitação pode ser interceptada por árvores ou objetos, ou ainda condensar diretamente sobre a superfície destes, provocando danos nos mesmos.

A deposição seca é aquela que ocorre sem a precipitação das espécies sobre a superfície, e depende diretamente da concentração do poluente no ar. O fluxo de material sobre a superfície é determinado pela transferência de material por turbulência no ar, por uma difusão molecular em uma fina camada que cobre a superfície, e pelos movimentos que provocam elevação de material da superfície. O processo é caracterizado pela expressão $D = v C$, onde D é a taxa de deposição seca, C é a concentração e v é a velocidade de deposição ou o inverso da resistência a transferência de material. Segundo MÉSZÁROS (1992) teríamos em média as seguintes velocidades

⁷² A neutralização também ocorre sobre os oceanos provocada pelo sal marinho, pelo cálcio oriundo de partículas atmosféricas de contendo solo, ...

⁷³ principalmente oriundos de atividades agrícolas.

⁷⁴ O que ocorre não é uma reação de neutralização do tipo $\text{HNO}_3 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{NO}_3$, um reajuste no pH da solução aquosa.

⁷⁵ Na zona rural da Inglaterra e em outros locais esta precipitação é de leve a moderadamente ácida.

de deposição seca: para o NO_2 0,01 – 1,0 cm / s, para o NO +/- 0,1 cm / s, e para o HNO_3 1 – 20 cm / s.

O quadro 25 nos mostra o balanço global de fontes e sumidouros de NO_x .

Quadro 25 –Balanço Global Atmosférico de NO_x

Fontes (T mol / ano)		Sumidouros (T mol / ano)	
Queima de Comb. Fósseis	1,5	Deposição úmida	0,86 – 3,0
Queima de biomassa	0,86	Deposição seca	0,86 – 1,6
Iluminação	0,57		
Atividade microbiológica em solos	0,57		
Oxidação do NH_3	0,36		
Total	3,86	Total	1,72 – 4,6

Fonte: MÉSZÁROS, 1992.

4.2.3.2. Determinação da concentração do poluente ao nível do solo, utilizando modelos de dispersão:

Como foi falado, os poluentes atmosféricos são transportados pelo vento e diluídos por turbulência atmosférica até serem depositados por difusão turbulenta (deposição seca) ou por precipitação (deposição) úmida, e simultaneamente ocorrem transformações químicas dos poluentes primários em secundários.

A dispersão dos poluentes e suas transformações químicas serão influenciadas por vários fatores, tais como: condições meteorológicas, topografia, velocidade e direção do vento, luz solar, precipitação, nuvens, neblina, umidade relativa, temperatura e aumento ou diminuição desta no ar com o aumento da altitude, e ainda o nível de poluição pré-existente⁷⁶. Dependendo destes fatores um mesmo local pode estar poluído em um dia e limpo no outro. Assim, os modelos de dispersão considerarão valores médios destes fatores para predizer resultados.

Ainda assim, a modelagem destas dispersão e reações irá variar de acordo com o tipo de poluente, sendo comum a divisão em três categorias: poluentes primários, nitrogênio e enxofre secundários, e oxidantes fotoquímicos (ozônio).

⁷⁶ Por exemplo, normalmente a temperatura do ar decresce com a altitude, contudo em alguns casos como a inversão térmica noturna (o solo esfria mais rápido e torna-se mais frio que o ar acima dele, resfriando-o) temos um aumento da temperatura do ar com a altitude que tampona os poluentes, pois estes só sobem até o ponto em que encontrem um ar mais quente que eles. Estes se concentram nesta camada até que o calor do sol restabeleça o gradiente decrescente (por volta das 10:00 hs).

Os poluentes primários, tais como materiais particulados (poeira), têm um efeito quimicamente estável⁷⁷ e assim são dispostos na região de emissão (escala local). Logo, suas concentrações podem ser previstas por um modelo de dispersão de curva Gaussiana. Estes modelos assumem que as emissões são carreadas em uma linha reta pelo vento, misturando-se com o ar no em torno horizontalmente e verticalmente, produzindo concentrações de poluentes com uma dispersão normal (ou gaussiana). O uso destes pressupõe um terreno plano (pouca rugosidade) e condições meteorológicas constantes, de modo que a pluma viaje com o vento em uma linha reta a velocidade constante. Outras questões dinâmicas que afetam a dispersão como interrupções de vento vertical são ignoradas, e assim, o modelo está restrito à locais em uma região até 80 – 100 Km da fonte.

A equação de dispersão do modelo é:

$$C(x, y, z = 0, H) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Onde C é a concentração ao nível do solo (g/m^3), Q é a taxa de liberação de poluentes (g/s), H é a altura efetiva de liberação de poluentes (m), y é a distância (m) do ponto onde se quer medir a concentração até a direção do vento, u é a velocidade do vento (m/s), σ_y é o desvio padrão do vento, da distribuição gaussiana, em relação a perpendicular horizontal à linha do vento, e σ_z é o desvio padrão do vento, da distribuição gaussiana, em relação a perpendicular vertical à linha do vento.

Para o cálculo da concentração média anual ao nível do solo, para cada poluente e em cada ponto do espaço, compões as concentrações instantâneas para o período de um ano, através da integração da equação de difusão, o que nos dá:

$$\bar{C}_{\text{anual}}(x^*, i) = \sum_{i=1}^n f_i(u) \cdot \left[\sum_{i=1}^n g_i(\sigma_y, \sigma_z) \cdot \left(\frac{n}{2\pi x^*} \cdot \int_{-y^*}^{y^*} C(x, y, 0) \delta y \right) \right]$$

Onde $C_{\text{anual}}(x^*, i)$ é a concentração média anual ao nível do solo ($\mu\text{g/m}^3 \cdot \text{ano}$), em um bloco de malha espacial (pe. de 20 x 20 Km) distantes x^* da fonte emissora, localizado no setor i da rosa dos ventos ($i = \text{N, NE, S, ...}$); $f_i(u)$ é a distribuição anual do

⁷⁷ De 10 a 80 Km o NO é oxidado a NO₂, mas generaliza-se o NO_x como poluente primário.

vento segundo a direção i ; $G_i(\sigma_y, \sigma_z)$ é a distribuição anual dos desvios padrões na direção do vento; n é o número de divisões da rosa dos ventos; e $y^* = x \text{ sen}(2\pi/n)$.

Posteriormente termos adicionais foram incluídos para contabilizar o efeito de camadas de inversão térmica superiores que atuam como barreira ao transporte vertical. O modelo gaussiano atualmente mais utilizado é o Industrial Source Complex Term – ISCST (versão 3) desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA). Como respostas destes modelos temos concentrações de material particulado, NO_x e SO_2 .

Uma aproximação diferente é necessária como os nitrogênios secundários, pois o fenômeno de deposição ácida exige um modelo de transporte regional (escala regional), e as reações químicas tornam-se importantes. Para esta análise são usados modelos de trajetória Lagrangeana, que consideram parcelas de ar que se movem na direção e velocidade do vento (podem ser emissor ou receptor orientados), ou modelos de rede Euleriana (por exemplo de 150×150 Km), onde são definidas emissões para cada célula especificada. Como exemplo de modelo de rede Euleriana temos o EMEP (European Monitoring Evaluation Programme - SANDNES E SYVE, 1992), o European, e o National Acid Deposition Program (NADP) nos EUA; e de trajetória Lagrangeana temos o Regional Acid Deposition Model (RADM, 1990) e o Harwell Trajectory Model (DERWENT E NODOP, 1986). Em ambos os casos as saídas incluem as concentrações depositadas de poluentes primários e secundários.

Em relação aos ozônio, a maioria dos esforços de modelagem desenvolvidos estão limitados as condições de emissões bem misturadas a baixa altitude em regiões de altas concentrações de ozônio (emissões veiculares urbanas), contudo este não é o caso de termelétricas a gás ciclo combinado, pois as plumas emitidas possuem emissões de hidrocarbonetos muito baixas, e apenas a distância de quilômetros podemos ter um incremento positivo de ozônio. Esta modelagem incorpora consideráveis complexidades nas plumas dinâmica e química, e segundo a Comissão Européia nenhum modelo realizou isto com sucesso até o momento (EC 1995). Assim, não apresentaremos funções dose-resposta e não valoraremos estes danos.

4.2.3.3. *Determinação do risco individual de morbidade e mortalidade, utilizando dados de vulnerabilidade ou funções dose-resposta, a partir da concentração dos poluentes ao nível do solo:*

O risco incremental de dano individual é dado pela expressão: $\Delta r = C \times DR(C)$

Onde Δr é o risco incremental individual relativo a concentração C adicional ao nível do solo em um determinado bloco da malha, e DR é o coeficiente dose resposta do efeito do poluente a concentração C . O quadro 26 nos fornece os coeficientes dose-resposta de morbidade do nitrato aerossol⁷⁸ depositado por via úmida. Cabe ressaltar que conforme descrito em EC 1995 e outros estudos, os nitrogênios aerossóis são tratados como particulados secundários do tipo PM_{10} , isto é, particulado com diâmetro menor que $10\mu m$.

Quadro 26 – Coeficientes dose-resposta

Estudo	Dano	Coef. dose-resposta (DR)	Varição na concentração
Schwartz 1993	Var. nos dias de prevalência de doença respiratória por 100000 pessoas por ano	Baixo = 60	Mudança na concentração anual de PM_{10} ($\mu g/m^3$)
		Médio = 95	
		Alto = 129	

Fonte: EC 1995

4.2.3.4. *Determinação do risco coletivo, utilizando dados demográficos do local:*

O risco coletivo é determinado multiplicando o risco individual de cada bloco da malha pela população existente no bloco da malha, e somando os riscos de todos os blocos. Estes dados populacionais são obtidos de anuários ou PNADs do IBGE. A expressão é: $\Delta R = \sum \Delta r \times Pop$

4.2.3.5. *Determinação do custo ambiental:*

O custo ambiental total é obtido multiplicando o risco coletivo pelos valores de mortalidade e morbidade. Os valores de mortalidade são os mesmos apresentados no quadro 10, considerando $e = 0,54$ e o fator 2, US \$ 929.743,75 (1992). Os valores de morbidade de doenças respiratórias causadas pelos nitrogênios depositados por via úmida são determinados segundo as seguintes expressões:

⁷⁸ Coeficientes adotados em estudo da Comissão Européia (EC 1995) considerando que é formado principalmente o nitrato de amônia.

CD Total = gastos com tratamento + valor dos dias perdidos de trabalho

Gastos com tratamento = gastos com internações + gastos ambulatoriais

Gastos com internação = nº internações x média de permanência x valor médio internações

Dias perdidos = (nº internações c/idade acima 14 anos x média permanência)⁷⁹ x (renda média mensal ÷ 30)

Renda Média Mensal Brasil 1996 = R\$ 454,00 (Ver Anexo 2)

CD por Caso de Doença (Internação) = CD Total ÷ Nº Internação

Para obtenção dos gastos ambulatoriais por doença utilizou-se a relação entre o gasto médio por internação no SUS em 1996 (R\$ 266,69) e o gasto médio por atendimento ambulatorial no SUS em 1996 (R\$ 2,72).

Quadro 27 – Gastos com Internações e Dias Perdidos – Brasil (R\$ 1996)

Período	Nº Internação		Média Permanên.	Valor Médio	Número de Mortes	Nº Mortes por Caso Doença
	Até 14 anos	> 14 anos				
Doenças respiratórias						
Ano	1.008.000	999.350	5,5	225,25	53.076	0,026441
Mês	84.000	83.279,17	5,5	225,25	4423	0,026441
Período	Gastos Internaços.	Gts Dias Perdidos	Gastos Ambulatr.	CD Total	Nº Internaços.	CD por Caso de Doença
Doenças respiratórias						
Mês	207237981,73	6931602,92	2113642,47	216283227,12	167279,17	1.292,95

Fonte: Elaboração Própria – Baseado em dados do Anexo 4.

Contudo os dados acima restringem-se ao âmbito hospitalar do sistema previdenciário (SUS). Para contabilizar os custos praticados em clínicas particulares, planos de saúde, etc... utilizaremos a relação entre a taxa de mortalidade dada pelo Sistema de Informações de Mortalidade (SIM = 6,74)⁸⁰ e a taxa de mortalidade no âmbito do Sistema de Informações Hospitalares (SIH/SUS = 1,95); e ainda

⁷⁹ Uma tabela da PNAD de população ativa por faixa etária (ver Anexo 2) nos mostra que a partir de 14 anos o número de indivíduos ativos é maior que os dos inativos, assim consideramos os dias perdidos de trabalho a partir desta idade.

⁸⁰ Inclui as mortes em estabelecimentos do SUS e em estabelecimentos particulares.

contabilizaremos a percentagem de óbitos não informada ao sistema de saúde (16,55%), que é tirada da relação entre os óbitos informados (SIM) e aqueles obtidos através dos CENSOS e PNADs do IBGE.

Quadro 28 – Custo de Doença (R\$ 1996):

Doença	CD por Caso de Doença no SUS	$[(6,74 \div 1,95) \times (100 \div 83,45)]$	CD por Caso de Doença Geral
Doenças respiratórias	1.292,95	4,14	5.352,80

Fonte: Elaboração Própria.

O valor de morbidade resultante de uma determinada doença, ou a disposição a pagar para evitar o aumento do risco associado à doença, inclui os gastos médicos com tratamento da doença, os dias de trabalho perdidos como resultado da doença, os gastos preventivos e a desutilidade associada aos sintomas e oportunidades de lazer perdidas. O método de custo de doença contempla apenas os dois primeiros itens. Para contabilizar os demais utilizaremos a relação DAP/CD de vista no item 2.3.3.10.1. Verificamos que esta encontra-se entre 1,30 e 2,40 e adotaremos o valor médio de 1,85.

Quadro 29 – Disposição a Pagar para Reduzir o Risco de Doença (R\$ 1996):

Doença	CD por Caso de Doença Geral	DAP / CD	DAP por Caso de Doença Geral
Doenças respiratórias	5.352,80	1,85	9.902,69

Fonte: Elaboração Própria.

No caso de ecossistemas terrestres as deposições de nitrato trazem impactos positivos, uma vez que o nitrogênio é um nutriente essencial normalmente aplicado pelos fazendeiros em suas culturas⁸¹. A correlação dose-resposta neste caso é a mesma do fertilizante e podemos utilizar custos de fertilização para valoração deste benefício. Segundo NIX (1990, In: EC 1995) este valor é de US\$ (1992) 537,50 / ton de nitrogênio depositada (não é de nitrato). Já o ozônio, assim como os óxidos de enxofre, causa prejuízos a cultura.

⁸¹ Assume-se que a dosagem aplicada pelo fazendeiro leve em conta a quantidade depositada e não seja excessiva.

5. ESTUDOS DE CASO DE VALORAÇÃO AMBIENTAL:

Nos estudos de caso de hidrelétricas não valoraremos os impactos sobre as atividades recreacionais, sobre os recursos culturais e arqueológicos, e sobre os ecossistemas e biodiversidade, pois como foi visto no item 4.1, a valoração destes danos é feita utilizando os métodos de valoração de contingente, de custo de viagem e de preços hedônicos, o que para produzir um resultado estatisticamente confiável demandaria a realização de um extenso número de entrevistas com preenchimento de questionários. Assim, o tempo de trabalho excederia o normalmente proposto e consideraremos tal procedimento além da proposta desta tese.

5.1. Usina Hidrelétrica de Simplício

As características técnicas do projeto de Simplício são:

Quadro 30 – AHE Simplício

Potência instalada	180 MW
Turbinas: 3 unidades tipo Francis/Potência unitária (nominal)	61,225 MW
Nível d'água no reservatório (Máx. normal)	179,50 m
Nível d'água a jusante (Máx. normal)	139,20 m
Cota da crista da Barragem	182,50 m
Profundidade máxima do reservatório	18,80 m
Perímetro do reservatório	43,50 Km
Área do reservatório	6,80 Km ²
Volume do reservatório	128 x 10 ⁶ m ³
Tempo de residência médio, para a vazão média anual de 451 m ³ /s (renovação do volume)	3 dias
Comprimento da Barragem	275,00 m
Entrada Operação (PE 1999 – 2008)	Set 2006

Fonte: EIA / RIMA Simplício – 1990.

5.1.1. Impactos da alteração do fluxo, do reservatório e de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, sobre a agricultura e outras atividades do setor primário, e sobre as florestas

Será buscada apenas a captação dos valores de uso direto do solo através da utilização do método da produtividade marginal.

Segundo o estudo de impacto ambiental haveria perda de áreas por inundação, com o seguinte tipo de ocupação: 4,40 ha de lavouras, 47,00 ha de vegetação secundária

desenvolvida (capoeirão), 114,40 ha de vegetação secundária (capoeira), e 391,20 ha de pastagem.

As áreas com lavouras permanentes são muito reduzidas na região, sendo que as culturas temporárias, como o milho, o feijão e o arroz, dentre outras, são a base da agricultura local. As áreas com reflorestamento são também muito reduzidas. Restam as pastagens, largamente distribuídas por toda a área, devido ao fato de ser a criação de gado uma das atividades econômicas mais importantes da região. Em mais de 90% das propriedades que serão alagadas, a criação bovina é (era) a atividade principal, sendo dirigida essencialmente para a produção leiteira.

Considerando a capacidade de suporte de uma cabeça de gado por hectare, a produção de 2,0 l de leite/dia/cabeça e 240 dias de lactação/ano/cabeça, médias na região, a produção de leite renunciada seria da ordem de 190.000 l/ano (EIA, 1990).

Tomando-se para o valor recebido pelos produtores um preço médio entre o leite tipo B e o tipo C de R\$ 0,39 / l (GAZETA MERCANTIL, 12/2000), a perda de receita bruta anual seria de R\$ 74.100,00.

Em relação às lavouras de milho, arroz e feijão, tomou-se como referência as áreas colhidas e o rendimento médio das regiões de Paraíba do Sul e Sapucaia.

Quadro 31 – Rendimentos das Culturas

Arroz em casca				
Cidade	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio (kg/ha)	
Paraíba do Sul	13	21	1615	
Sapucaia	13	32	2461	
Total	26	53	2038	
Feijão em grão				
Cidade	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio (kg/ha)	
Paraíba do Sul	320	192	600	
Sapucaia	100	90	900	
Total	420	282	671,4	
Milho em grão				
Cidade	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Rendimento médio (kg/ha)	
Paraíba do Sul	90	162	1800	
Sapucaia	160	352	2200	
Total	250	514	2056	

Fonte: Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro. 1989

Considerando-se as áreas colhidas acima, e relacionando-se proporcionalmente estas com a área de lavoura atingida pelo empreendimento (4,4 ha), obtém-se as áreas que poderiam ser colhidas por produto: Arroz – 0,16 ha, Feijão – 2,66 ha, e Milho –

1,58 ha. Ainda, considerando-se os rendimentos médios totais das tabelas anteriores, obtém-se a produção anual sacrificada para os 4,4 ha, por produto de: Arroz – 326,1 kg, Feijão – 1785,9 kg, e Milho – 3248,5 kg.

Os preços médios atuais dos produtos para a região são os seguintes:

Quadro 32	Preço (R\$)
Arroz em casca (60 kg)	12,00
Milho a granel (60 kg)	9,00
Feijão (60 kg)	45,00

Fonte: Gazeta Mercantil 12/2000

A perda de benefício em relação à receita bruta seria:

Quadro 33	Perda (R\$)
Arroz em casca	65,22
Milho a granel	487,28
Feijão	1339,43

Fonte: Elaboração Própria

Nota-se que, uma vez que a produção servia para o consumo próprio dos proprietários das terras ao invés de ser comercializada, as perdas monetárias das lavouras não seriam consideráveis.

A área de 47,0 ha de capoeirão poderia ser aproveitada para o uso da madeira na produção de carvão da mata nativa a ser utilizado pelas siderúrgicas e fábricas de cimento. Estudos de Abdala apontam para o cerrado, valores para uso como carvão vegetal de US\$ 271,30/ha/ano, enquanto que estudos de Medeiros indicam valores de US\$ 418,97/ha/ano (MAY, 1999). Assim, poderia ser gerada uma receita bruta de US\$ 12.751,10 e US\$19.691,59, respectivamente. Em Reais estes valores correspondem a R\$ 23.718,00 e R\$ 36.626,36.

Somando-se as receitas brutas não realizadas da atividade leiteira, teríamos uma perda anual de R\$ 75.991,93.

Considerando o período de análise de 50 anos, incluindo as perdas de uso da madeira apenas no primeiro ano, teríamos a valor presente os custos ambientais de R\$ 3.823.314,50 (Madeira por Abdala) e R\$ 3.836.222,86 (Madeira por Medeiros), a uma taxa de desconto de 0%; de R\$ 1.220.149,74 e R\$ 1.232.327,44, a uma taxa de desconto de 6%; e de R\$ 775.007,81 e R\$ 786.742,68, a uma taxa de desconto de 10%. Assim a

perda anual equivalente média do período de 50 anos a uma taxa de desconto de 0% seria de $((3.823.314,50 + 3.836.222,86) \div 2) \div 50 = R\$ 76.595,37$.

5.1.2. *Impactos da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração)*

Este item atém-se apenas aos efeitos da erosão no corpo d'água a montante do reservatório. Segundo o EIA/RIMA os únicos usos decorrentes da usina são a geração de energia e o controle de enchentes. Como a erosão afeta a produtividade destas atividades, será adotada a técnica de análise da produtividade marginal, enfocando o impacto da erosão na magnitude do benefício destas.

Para correlacionar a erosão do solo com os diversos tipos e usos de solo a montante e ao redor do reservatório utiliza-se a Equação Universal de perda do solo, onde a perda do solo é função de fatores como a densidade pluviométrica, a erosão do solo, o ângulo de inclinação do solo, os gerenciamentos dos usos dos solos existentes e os controles de erosão existentes. A seguir obtém-se a perda anual total pelo somatório dos produtos da perdas de solo de cada tipo de solo (obtidos pela E. Universal) pela área de cada um destes tipos de solo. Como forma de simplificação do problema, suprimiu-se a etapa equação universal de solos e utilizou-se taxas compostas de erosão para região como um todo.

Como não existem dados para as taxas de erosão nem no EIA/RIMA nem em algum outro levantamento hidrosedimentológico, visando apenas demonstrar como se dá o exercício da aplicação do método, bem como obter uma ordem de grandeza do dano, consideraremos que as taxas são de 40 /ha/ano no ano zero, e crescentes devido ao aumento populacional e econômico nesta região do vale do Paraíba do Sul até 80 /ha/ano no ano 20, momento a partir do qual esta ficará constante até o final do horizonte de estudo⁸².

Uma vez que nem todo material erodido é carregado e depositado no reservatório, para obter-se o material que é efetivamente depositado no reservatório, isto é, para converter o volume que é erodido anualmente no volume que chega no

⁸² Adotou-se os mesmos dados fabricados para uso na valoração deste dano no estudo de Nam Pong (SEATEC Report (1978:12-34), in Srivardhana, R., in Dixon 1999)

reservatório, utiliza-se uma função que correlaciona o depósito anual de solo no reservatório, com o solo carregado pela região a montante (E), com a erosão dos canais (C), com a erosão da ocupação do leito (B) e com a taxa de despejo de sedimentos (R). Obtendo um valor em toneladas. Para converter de toneladas para metros cúbicos, este estudo considera uma densidade tal que $1 \text{ t} = 0,67 \text{ m}^3$.

$$S = (E + C + B) \times R$$

Assim, a taxa de erosão anual é multiplicada pela área do corpo d'água em hectares, pelo fator de erosão (E + C + B) e pela taxa de despejo dos sedimentos (R). Como não existem dados disponíveis, para fins deste estudo consideremos as mesmas taxas de despejo de sedimentos de 0,20 e o fator de erosão 1,56. Convertendo de toneladas para metros cúbicos com 0,67 temos:

$$\text{taxa de erosão anual (tons/ha)} \times 680 \text{ ha} \times 1,56 \times 0,2 \times 0,67 \text{ (m}^3\text{/tons)} =$$

$$[\text{taxa de erosão anual (tons/ha)} \times 142,15] \text{ (m}^3\text{)}$$

Isto é o fator que converte o volume erodido no que chega ao reservatório é de 142,15.

Baseado no EIA adotamos a capacidade de retenção do reservatório no volume útil de 30%, isto é do total de sedimentos que chega ao reservatório, apenas 30% é depositado⁸³. Assim, o fator que converte o volume que chega no que é sedimentado é 0,30.

O Plano de Expansão 1999/2008 nos fornece que a tarifa média de fornecimento ao consumidor final é de US \$ 80,97 / MWh, e que o custo marginal de operação padrão é varia de US \$ 35,00 / MWh (2000) a US \$ 45,00 / MWh. Adotando um custo médio de US \$ 40,00 / MWh, os benefícios anuais da geração de energia são de US \$ 40,97 / MWh. No caso de Simplício, considerando um fator de capacidade médio de 0,55, estes correspondem a $40,97 \text{ \$ / MWh} \times (180 \text{ MW} \times 365 \text{ d} \times 24 \text{ h/d} \times 0,55) = \text{US \$ } 35,53 \times 10^6$. Uma vez que não dispomos de cálculos nacionais para os ganhos da regularização, adotaremos a mesma proporção com os ganhos de energia dos estudo de Nam Pong, o que nos leva a benefícios anuais de $\text{US \$ } 15,73 \times 10^6$. Assim, os benefícios anuais do projeto no ano base, isto é, sem perda de volume por sedimentação, são de $\text{US \$ } 51,26 \times 10^6$.

⁸³ considerando possibilidade de operação de um limpador de fundo e o que é depositado no volume útil (x volume útil +volume total).

Para se calcular como variam os benefícios ao longo do tempo, adota-se a hipótese de que os benefícios anuais são uma função linear da capacidade efetiva de armazenamento⁸⁴. O volume útil do reservatório de Simplicio é de $116,899 \times 10^6 \text{ m}^3$. Assim a perda de benefício é de $51,26 \div 116,899 = \text{US } \$ 0,438 / \text{m}^3$.

Apesar do tempo de vida físico do reservatório ser de mais de 100 anos, escolhemos um período de análise de 50 anos, devido a este ser um período mais do que suficiente para contabilização de todos os custos e benefícios quando uma taxa de desconto positiva é usada (para uma taxa de 10% estes são recuperados nos primeiros 30 anos). Os quadros 34 e 35 calculam estas perdas no período de análise.

Quadro 34 - Variação dos benefícios anuais do reservatório de Simplicio

Ano											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Taxa de Erosão Anual (ton/ha)											
40	44	47	50	53	56	59	61	63	65	67	69
Fator 1 – volume erodido no que chega ao reservatório											
vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes
142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15
Fator 2 – volume que chega no que é sedimentado											
vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes
0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Redução anual na capacidade (m^3)											
igual ⁸⁵	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual
0	1876,38	2004,32	2132,25	2260,19	2388,12	2516,06	2601,35	2686,64	2771,93	2857,22	2942,51
Redução anual acumulada na capacidade (m^3)											
Igual	Igual	Igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual
0	1876,38	3880,70	6012,95	8273,13	10661,25	13177,31	15778,65	18465,29	21237,21	24094,43	27036,93

Fonte: Elaboração própria.

⁸⁴ Esta hipótese foi baseada nos estudos do reservatório de Nam Pong.

⁸⁵ Consideramos que a taxa de erosão de 40/ha/ano no ano zero, foi compensada na fase de construção.

Quadro 34 - Variação dos benefícios anuais do reservatório de Simplício

Ano											
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	...	50
Taxa de Erosão Anual (ton/ha)											
71	73	74	75	76	77	78	79	80	80	...	80
Fator 1 – volume erodido no que chega ao reservatório											
vezes	Vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	Vezes
142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15	142,15
Fator 2 – volume que chega no que é sedimentado											
Vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	vezes	Vezes
0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Redução anual na capacidade (m ³)											
Igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	igual	...	igual
3027,80	3113,09	3155,73	3198,38	3241,02	3283,67	3326,31	3368,96	3411,60	3411,60		3411,60
Redução anual acumulada na capacidade (m ³)											
Igual	igual	igual	igual	Igual	igual	igual	igual	igual	igual	...	igual
30064,73	33177,81	36333,54	39531,92	42772,94	46056,60	49382,91	52751,87	56163,47	59575,07		158511,47

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 35 – Perda de Benefícios por Sedimentação

Ano	Redução Anual Acumu.	Perda de Benef. Anual	Valor Presente a Taxa de Desconto de:		
			0%	6%	10%
0	-	-	-	-	-
1	1.876,38	821,85	821,85	775,33	747,14
2	3.880,70	1.699,75	1.699,75	1.512,77	1.404,75
3	6.012,95	2.633,67	2.633,67	2.211,28	1.978,72
4	8.273,13	3.623,63	3.623,63	2.870,26	2.474,99
5	10.661,25	4.669,63	4.669,63	3.489,42	2.899,47
6	13.177,31	5.771,66	5.771,66	4.068,79	3.257,95
7	15.778,65	6.911,05	6.911,05	4.596,24	3.546,46
8	18.465,29	8.087,80	8.087,80	5.074,38	3.773,02
9	21.237,21	9.301,90	9.301,90	5.505,78	3.944,91
10	24.094,43	10.553,36	10.553,36	5.892,94	4.068,78
11	27.036,93	11.842,18	11.842,18	6.238,31	4.150,61
12	30.064,72	13.168,35	13.168,35	6.544,27	4.195,84
13	33.177,81	14.531,88	14.531,88	6.813,11	4.209,37
14	36.333,54	15.914,09	15.914,09	7.038,82	4.190,68
15	39.531,92	17.314,98	17.314,98	7.224,94	4.145,07
16	42.772,94	18.734,55	18.734,55	7.374,79	4.077,18
17	46.056,60	20.172,79	20.172,79	7.491,46	3.991,08
18	49.382,91	21.629,71	21.629,71	7.577,84	3.890,29
19	52.751,87	23.105,32	23.105,32	7.636,61	3.777,90
20	56.163,47	24.599,60	24.599,60	7.670,27	3.656,57
21	59.575,07	26.093,88	26.093,88	7.675,66	3.526,08

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 35 – Perda de Benefícios por Sedimentação

Ano	Redução Anual Acumu.	Perda de Benef. Anual	Valor Presente a Taxa de Desconto de:		
			0%	6%	10%
22	62.986,67	27.588,16	27.588,16	7.655,86	3.389,09
23	66.398,27	29.082,44	29.082,44	7.613,70	3.247,87
24	69.809,87	30.576,72	30.576,72	7.551,79	3.104,32
25	73.221,47	32.071,00	32.071,00	7.472,50	2.960,03
26	76.633,07	33.565,28	33.565,28	7.377,99	2.816,31
27	80.044,67	35.059,57	35.059,57	7.270,23	2.674,26
28	83.456,27	36.553,85	36.553,85	7.151,03	2.534,77
29	86.867,87	38.048,13	38.048,13	7.022,04	2.398,53
30	90.279,47	39.542,41	39.542,41	6.884,73	2.266,12
31	93.691,07	41.036,69	41.036,69	6.740,47	2.137,96
32	97.102,67	42.530,97	42.530,97	6.590,49	2.014,37
33	100.514,27	44.025,25	44.025,25	6.435,89	1.895,58
34	103.925,87	45.519,53	45.519,53	6.277,67	1.781,75
35	107.337,47	47.013,81	47.013,81	6.116,74	1.672,94
36	110.749,07	48.508,09	48.508,09	5.953,92	1.569,20
37	114.160,67	50.002,37	50.002,37	5.789,93	1.470,49
38	117.572,27	51.496,65	51.496,65	5.625,44	1.376,76
39	120.983,87	52.990,94	52.990,94	5.461,01	1.287,91
40	124.395,47	54.485,22	54.485,22	5.297,17	1.203,85
41	127.807,07	55.979,50	55.979,50	5.134,39	1.124,42
42	131.218,67	57.473,78	57.473,78	4.973,06	1.049,49
43	134.630,27	58.968,06	58.968,06	4.813,54	978,88
44	138.041,87	60.462,34	60.462,34	4.656,15	912,45
45	141.453,47	61.956,62	61.956,62	4.501,15	850,00
46	144.865,07	63.450,90	63.450,90	4.348,79	791,36
47	148.276,67	64.945,18	64.945,18	4.199,25	736,36
48	151.688,27	66.439,46	66.439,46	4.052,70	684,82
49	155.099,87	67.933,74	67.933,74	3.909,29	636,57
50	158.511,47	69.428,02	69.428,02	3.769,13	591,43
	TOTAL (em US \$)		1.667.916,31	285.929,36	22.064,85

Fonte: Elaboração própria.

Em valores presentes a perda de benefícios totais (energia elétrica e controle de enchentes) pela erosão e sedimentação, com redução do volume do lago, considerando 1 US \$ = 1,90 R\$, é de: R\$ 3.169.040,99 (desconto 0%), R\$ 543.265,78 (desconto 6%), e R\$ 41.923,22 (desconto de 10%). Assim a perda anual equivalente média do período de 50 anos a uma taxa de desconto de 0% é de R\$ 63.380,82.

O estudo deste item tem a limitação de arbitrar dados de taxas de erosão anual (dentro de valores coerentes), bem como alguns outros parâmetros como o fator de erosão e a taxa de despejo de sedimentos; dever-se-ia determinar estes dados, bem como a extrapolação das taxas de erosão baseado em cuidadosas pesquisas de solo nas áreas da região em estudo, determinando cuidadosamente uma função dose resposta.

5.1.3. Impactos da alteração do fluxo sobre a navegação

O EIA/RIMA nos informa que neste trecho do Paraíba do Sul entre os municípios de Sapucaia e Além Paraíba, a navegação é feita apenas por pequenas embarcações com percurso local, sem importância atual para a região. Assim, consideraremos os danos por eventuais mudanças de rota e/ou de tipo modal, em virtude da não existência de uma eclusa no barramento, como não relevantes.

5.1.4. Impactos pela alteração do fluxo com efeitos à saúde pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica (diarréia, mosquitos, malária)

Uma vez que não existem funções dose-resposta relacionando o barramento com o incidência de doenças de veiculação hídrica, a análise proposta no item 4.1.5 desta tese é ex-post (posterior). Como a usina ainda não foi implementada, não podemos usar os dados do DATASUS para determinar a variação nos casos de incidência de doença após o início da construção do barramento.

5.1.5. Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos minerais

O EIA/RIMA não menciona qualquer jazida de recurso mineral metálico ou nuclear dentro da área de alagamento do reservatório, informando que os únicos recursos que são explorados comercialmente são aqueles destinados a utilização na construção civil, como o caulim, o quartizito, as areias, argilas e calcário. Assim, consideraremos este impacto como não relevante.

5.1.6. Impactos das emissões de gases de estufa sobre a mudança do clima

A usina de Simplicio tem uma área de reservatório de $6,8 \text{ Km}^2$ ($6.800.000 \text{ m}^2$). Segundo os dados do quadro 16, Santos (2000), podemos considerar para uma hidrelétrica uma emissão média de $356,88 \text{ mg/ m}^2 \times \text{dia}$ de CO_2 e $18,29 \text{ mg/ m}^2 \times \text{dia}$ de CH_4 . Considerando o potencial de aquecimento global do IPCC 95 para o metano de 21, teríamos uma emissão média equivalente de CO_2 de $356,88 + 21 \times 18,29 = 740,97 \text{ mg/ m}^2 \times \text{dia}$ de CO_2 . Considerando a área alagada de $6.800.000 \text{ m}^2$ teríamos $5.038.596.000 \text{ mg/ dia}$ de $\text{CO}_2 = 5,039 \text{ t/dia}$ de $\text{CO}_2 \times (365 \text{ dia/ano}) \times (12/44 \text{ C/CO}_2) = 501,569 \text{ t/ ano}$ de C equivalente. Considerando o preço de mercado de carbono do Prototype Carbon

Fund do Banco Mundial de 20 US \$ / t C teríamos um dano de US \$ 10.032,19 / ano. Tomando 1 US \$ = 1,90 R \$, daria R\$ 19.061,16 / ano.

Em valores presentes o dano pelas emissões de gases de estufa, para um horizonte de trabalho de 50 anos, é de: R\$ 953.058,00 (desconto 0%), R\$ 300.439,41 (desconto 6%), e R\$ 188.987,97 (desconto de 10%).

5.1.7. Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes)

Considerando que Simplício tem uma potência nominal instalada de 180 MW ou ainda uma energia firme de 100 MW (fator de capacidade 0,55), ele geraria por ano 100 x 365 dias x 24 horas/dia = 876.000 MWh. Levando em conta as estatísticas e custos (disposição a pagar) por caso de acidente fornecidas pelos quadros 18 e 19, teríamos:

Quadro 36 – Custos de saúde ocupacional de Simplício.

	Típico c/ afastam.	Típico s/ afastam.	Trajeto c/ afastam.	Morte ⁸⁶
Nº acidente / (MWh)	15,51519 x 10 ⁻⁶	6,91964 x 10 ⁻⁶	3,06236 x 10 ⁻⁶	0,25457 x 10 ⁻⁶
876.000 MWh/ ano				
Nº acidente / ano	13,59131	6,06160	2,68263	0,22300
DAP / acidente	11.572,87 (R\$ 96)	5,03 (R\$ 96)	3.779,59 (R\$ 96)	929.743,75 (US \$ 92)
Considerando o IPC dos EUA em 1992 = 107,4 e em 07/2000 = 131,8; o dólar 07/2000 (paralelo) = 1,9295; e o IPC (FGV) do Brasil em 1996 = 148,145 e em 07/2000 = 188,608, temos:				
DAP / acidente (R\$ 07/2000)	14.733,78	6,40	4.811,91	2.201.502,48
Custo / ano	200.251,32	38,82	12.908,57	490.942,36
Custo total / ano				704.141,07

Fonte: Elaboração própria

Em valores presentes o dano de saúde ocupacional (acidentes), para um horizonte de trabalho de 50 anos, é de: R\$ 35.207.053,60 (desconto 0%), R\$ 11.098.573,51 (desconto 6%), e R\$ 6.981.428,20 (desconto de 10%).

⁸⁶ Adotado para valor de morte o valor da vida estatística do quadro 10 com e = 0,54 e o fator 2.

5.2. Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa

As características técnicas do projeto de Serra da Mesa são:

Quadro 37 – AHE Serra da Mesa

Localizada no Rio Tocantins à 1790 Km da Foz – Latitude 13° 50'S, Longitude 48° 18'N – Estado de Goiás – Municípios de Minaçu (ME), Colinas do Sul (MD)	
Potência instalada	1275 MW
Energia Média (fc = 0,577)	735 MW/ano
Área Inundada	1784 Km ²
Área de Drenagem	50.975 Km ²
Volume Total ⁸⁷	54,4 Km ³
Volume Útil	43,25 Km ³
Profundidade média	30 m
Turbinas: 3 unidades tipo Francis eixo vertical / Potência unitária (casa de força subterrânea)	425 MW
Barragem de enrocamento com miolo de argila	
Comprimento Total da Crista	1510 m
Altura Máxima Barragem	150 m
Altura Máxima da Tomada D'água	70,2 m
Nível D'água Máximo Normal de Montante	417,3 m
Nível D'água Médio Normal de Jusante	333 m
Queda Nominal (líquida máxima)	125,80 m
Vazão de Projeto (TR 10.000 anos)	22780 m ³ /s
Vazão Natural Firme (95% permanência)	668 m ³ /s
Início da Construção (Camargo Corrêa)	1986
Paralisação pela retração do Mercado de Energia	
Reinício com Parceria Privada ⁸⁸	1993
Obtenção da Licença de Operação (Enchimento)	1996
Funcionamento da Turbina	1998

Fonte: PBA de Serra da Mesa – FURNAS 1996.

5.2.1. Impactos da alteração do fluxo, do reservatório e de locais de empréstimos e despejos de resíduos de rochas e materiais de construção, sobre a agricultura e outras atividades do setor primário, e sobre as florestas

As fisionomias diretamente atingidas pelas áreas alagadas, são apresentadas no quadro 38.

⁸⁷ Maior reservatório do Brasil em volume d'água.

⁸⁸ O parceiro privado é a Serra da Mesa Energia, inicialmente o consórcio Empresa Energética SA e Nacional Energética AS, e após 1997, VBC Energia (Votorantim, Bradesco, Camargo Correa). Pelo contrato Furnas fica com a concessão e é responsável pela operação, e o parceiro fica com a propriedade dos itens (equipamentos, maquinários, ...) necessários a conclusão (itens estes que serão colocados por ele) e com parte da energia vendida (ganhou o parceiro que entrou na licitação com a proposta da menor parte (54,51%)).

Quadro 38 – Fisionomias atingidas pela área alagada

Fisionomia	Área Diretamente Afetada (ha)
Campo Cerrado	117.181
Cerrado Aberto	21.178
Cerrado Denso	2.566
Ecótono Mata / Cerrado ⁸⁹	3.536
Mata de Galeria	13.119
Mata Estacional	1.483
Área de agropecuária	16.030
Área de queimadas	2.443
Área de Exploração Mineral	864
Total	178.400

Fonte: FURNAS 1990

O potencial madeireiro dos cerrados, ecótono, e matas é de 360.000 m³ para madeira serrada, e de 1.650.000 m³ para carvão. A demanda deste potencial, no caso do carvão vegetal, é realizado pelas mineradoras, a uma taxa de 40.000 m³/mês, o que resulta num consumo total em 3,5 anos. Já no caso da madeira serrada, as madeiras locais absorvem 3.000 m³/ano, o que levaria a um consumo total em 120 anos (FURNAS 1990). Adotaremos neste estudo a premissa de que parte desta madeira seria serrada em outras localidades, de modo a ser consumida num horizonte de 50 anos. O quadro 39 nos mostra as perdas totais de extração vegetal de vegetação nativa pelo alagamento, estas, serão distribuídas respectivamente em 50 anos e 3 anos no cálculo de determinação do valor presente.

Quadro 39 – Perdas totais de extração vegetal pelo alagamento.

Destino Final	Quantidade (m ³)	Preço ⁹⁰ (R\$ 2000 / m ³)	Valor Sacrificado
Madeira Serrada	360.000	252,00	90.720.000,00
Carvão Vegetal	1.650.000	131,04	216.216.000,00
Valor de Extração Vegetal Sacrificado			306.936.000,00

Fonte: Elaboração própria.

⁸⁹ Transição entre duas ou mais comunidades ou biomas diferentes, formando um cinturão mais estreito que as comunidades adjacentes, com características de ambos os biomas. A estas características chamamos efeito de borda (CARVALHO, 1991). No caso o cerrado e a mata.

⁹⁰ O preço da madeira serrada foi obtido junto ao SIDUSCOM de GO considerando seu emprego na construção civil (madeira serrada em pranchas – m³ – 2000). No emprego como carvão vegetal, o preço foi determinado através do anuário estatístico (IBGE 1997) dividindo o valor R\$ 1995 pela produção (m³) de carvão vegetal de floresta nativa em Goiás, atualizando a seguir o valor pelo IPC (FGV). R\$ (1995) 17.966.000 ÷ 206.362 m³ = 87,06 x (188,608 (IPC jul 00) ÷ 125,304 (IPC 95)) = R\$ 131,04 / m³.

Considerando que as queimadas são realizadas visando propiciar a produção agropecuária, teríamos um total de área destinada a agropecuária alagada de $16.030 + 2.443 = 18.473$ ha.

O Censo Agropecuário do Estado de Goiás (IBGE 1995/1996) nos mostra que para todo o estado existe 3.177.360 ha de atividades agrícolas e 21.878.215 ha de atividades de pecuária⁹¹. Assim, poderíamos separar a área alagada de agropecuária proporcionalmente em $18.473 \times (3.177.360 \div (3.177.360 + 21.878.215)) = 2.342,6$ ha de agricultura, e $18.473 \times (21.878.215 \div (3.177.360 + 21.878.215)) = 16.130,4$ ha de pecuária.

O quadro 40 nos mostra os municípios e respectivas áreas atingidas pelo reservatório. Considerando que dos 1784,5 Km² temos 23,426 Km² em atividades agrícolas e 161,304 Km² em atividades de pecuária, poderíamos obter as áreas alagadas de produção agrícola (Área inundada $\times 23,426 \div 1784,5$ Km²) e de pecuária (Área inundada $\times 161,304 \div 1784,5$ Km²) por município.

Quadro 40 – Municípios atingidos pelo reservatório de Serra da Mesa

Município	Área (Km ²)	Área Inundada (Km ²)	Área Inundada Agricultura (Km ²)	Área Inundada Pecuária (Km ²)
Barro Alto	1231,80	35,80	0,46996	3,23602
Campinaçu	1981,70	332,30	4,36226	30,03716
Campinorte	1072,10	3,50	0,04595	0,31637
Colinas do Sul	1714,50	68,50	0,89923	6,19183
Minaçu	2871,60	47,70	0,62618	4,31168
Niquelândia	9879,00	1018,70	13,37297	92,08203
São Luiz do Norte	588,10	0,50	0,00656	0,04520
Uruaçu	2149,70	277,50	3,64288	25,08370
Total	21.488,50	1.784,50	23,426	161,304

Fonte: Áreas Alagadas (FURNAS 1996), Áreas Municípios (Catálogo de Dados dos Municípios de Goiás, 2000 (www.goiás.gov.br))

As lavouras praticadas nos municípios antes do alagamento incluíam o milho, o arroz, o feijão, a mandioca, a cana, a soja, o café, a banana, o abacaxi, e uma hortifruticultura de subsistência. Na pecuária eram utilizadas as pastagens naturais, a ensilagem, e a inseminação. A produção é voltada principalmente para o corte, mas também é praticada a pecuária leiteira. O uso agropecuário atual é basicamente o mesmo daquela época, variando apenas as taxas de produtividade. O quadro 41 nos

⁹¹ Não existem estas informações desagregadas por município, dados estes que seriam ideais pois introduziriam menores vieses na análise.

mostra o uso atual agropecuário nos municípios alagados, e as ponderações caso este uso fosse praticado nas áreas alagadas.

Quadro 41 – Uso atual agropecuário nos municípios alagados.

Município: Barro Alto			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total		4422,000 ha	Área agrícola alagada 46,996 ha
Cana	2020 ha	202.000 t	2146,83 t
Milho	1470	2650	28,16
Soja	545	980	10,42
Arroz	340	280	2,98
Melancia	30	840	8,93
Mandioca	10	120	1,28
Abacaxi	2	50	0,53
Banana	5	40	0,43
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total ⁹²		30448,488 ha	Área pecuária alagada 323,602 ha
Bovinos (corte)	58.000 cab		616,42 cab
Suínos (corte)	3.200 cab		34,01 cab
Aves (corte)	23.000 cab		244,44 cab
Ovos	50.000 dz		531,39 dz
Vacas ordenhadas	5.800 cab		61,64 cab
Leite	4.176.000 l		44.381,95 l
Município: Campinaçu			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total		1075 ha	Área agrícola alagada 436,226 ha
Cana	75 ha	1.500 t	608,69 t
Milho	600	1.080	438,26
Feijão	15	12	4,87
Arroz	300	270	109,56
Mandioca	70	1.190	482,89
Banana	15	12	4,87
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total		7.402,109 ha	Área pecuária alagada 3.003,716 ha
Bovinos (corte)	48.000 cab		19.478,02 cab
Suínos (corte)	4.570 cab		1.854,47 cab
Aves (corte)	26.000 cab		10.550,59 cab
Ovos	71.000 dz		28.811,23 dz
Vacas ordenhadas	5.500 cab		2.231,86 cab
Leite	3.900.000 l		1.582.588,74 l

Fonte: Uso atual (Catálogo de Dados dos Municípios de Goiás, 2000 (www.goiás.gov.br))

⁹² Obtido pela proporção de área agrícola e de pecuária do Censo agropecuário do estado de Goiás.

Quadro 41 – Uso atual agropecuário nos municípios alagados.

Município: Campinorte			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total		1.442 ha	Área agrícola alagada 4,595 ha
Cana	30 ha	1.200 t	3,82 t
Milho	600	1560	4,97
Feijão	110	121	0,39
Arroz	500	600	1,91
Mandioca	15	240	0,76
Café	10	10	0,03
Abacaxi	20	540	1,72
Banana	60	210	0,67
Manga	97	116	0,37
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total		9.929,154 ha	Área pecuária alagada 31,637 ha
Bovinos (corte)	38.000 cab		121,08 cab
Suínos (corte)	2.750 cab		8,76 cab
Aves (corte)	20.800 cab		66,27 cab
Ovos	43.000 dz		137,01 dz
Vacas ordenhadas	480 cab		1,53 cab
Leite	5.200.000 l		16.568,67 l
Município: Colinas do Sul			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total		630 ha	Área agrícola alagada 89,923 ha
Cana	40 ha	1.200 t	171,28 t
Milho	200	460	65,66
Feijão	50	20	2,85
Arroz	200	220	31,40
Mandioca	20	240	34,26
Banana	120	360	51,38
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total		4.337,980 ha	Área pecuária alagada 619,183 ha
Bovinos (corte)	25.000 cab		3.568,38 cab
Suínos (corte)	1.700 cab		242,65 cab
Aves (corte)	14.000 cab		1.998,30 cab
Ovos	52.000 dz		7.422,24 dz
Vacas ordenhadas	1.750 cab		249,79 cab
Leite	4.176.000 l		596.062,91 l
Município: Minaçu			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total		2065 ha	Área agrícola alagada 62,618 ha
Cana	45 ha	900 t	27,29 t
Milho	1250	2240	67,92
Feijão	250	485	14,71
Arroz	320	280	8,49
Mandioca	120	2400	72,78
Banana	60	540	16,37
Melancia	20	500	15,16

Fonte: Uso atual (Catálogo de Dados dos Municípios de Goiás, 2000 (www.goiás.gov.br))

Quadro 41 – Uso atual agropecuário nos municípios alagados.

Município: Minaçu			
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total	14.218,935 ha		Área pecuária alagada 431,168 ha
Bovinos (corte)	64.000 cab		1.940,71 cab
Suínos (corte)	6.958 cab		210,99 cab
Aves (corte)	56.000 cab		1.698,12 cab
Ovos	135.000 dz		4.093,68 dz
Vacas ordenhadas	6.500 cab		197,10 cab
Leite	3.900.000 l		118.261,81 l
Município: Niquelândia			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total	14.000 ha		Área agrícola alagada 1.337,297 ha
Cana	100 ha	4.000 t	382,08 t
Milho	9.000	27.000	2.579,07
Feijão	700	980	93,61
Arroz	3.000	3.000	286,56
Mandioca	150	2.400	229,25
Soja	600	13.800	1.318,19
Café	200	120	11,46
Banana	250	1.000	95,52
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total	96.399,556 ha		Área pecuária alagada 9.208,203 ha
Bovinos (corte)	180.000 cab		17.193,82 cab
Suínos (corte)	10.700 cab		1.022,08 cab
Aves (corte)	65.000 cab		6.208,88 cab
Ovos	150.000 dz		14.328,18 dz
Vacas ordenhadas	12.000 cab		1.146,25 cab
Leite	10.000.000 l		955.212,19 l
Município: São Luiz do Norte			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total	2.465 ha		Área agrícola alagada 0,656 ha
Cana	40 ha	1.200 t	0,32 t
Milho	1.200	2.760	0,73
Feijão	280	384	0,10
Arroz	600	600	0,16
Mandioca	30	480	0,13
Abacaxi	310	7.750	2,06
Banana	5	5	0,00
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total	16.973,208 ha		Área pecuária alagada 4,520 ha
Bovinos (corte)	60.000 cab		15,98 cab
Suínos (corte)	2.730 cab		0,73 cab
Aves (corte)	14.500 cab		3,86 cab
Ovos	50.000 dz		13,31 dz
Vacas ordenhadas	4.800 cab		1,28 cab
Leite	5.500.000 l		1464,53 l

Fonte: Uso atual (Catálogo de Dados dos Municípios de Goiás, 2000 (www.goiás.gov.br))

Quadro 41 – Uso atual agropecuário nos municípios alagados.

Município: Uruaçu			
Agricultura (produção ano 1998) na área total			Proporção na área alagada
Área agrícola total		4.505 ha	Área agrícola alagada 364,288 ha
Cana	115 ha	4.600 t	371,97 t
Milho	1.800	6.480	523,99
Soja	1.690	4.394	355,31
Arroz	500	620	50,14
Mandioca	70	1120	90,57
Café	10	4	0,32
Abacaxi	30	660	53,37
Banana	120	350	28,30
Melancia	150	4.500	363,88
Maracujá	20	200	16,17
Pecuária (produção ano 1997) na área total			Proporção na área alagada
Área pecuária total		31.020,000 ha	Área pecuária alagada 2.508,370 ha
Bovinos (corte)	80.000 cab		6.469,04 cab
Suínos (corte)	7.100 cab		574,13 cab
Aves (corte)	73.000 cab		5.903,00 cab
Ovos	130.000 dz		10.512,19 dz
Vacas ordenhadas	11.000 cab		889,49 cab
Leite	12.000.000 l		970.355,84 l

Fonte: Uso atual (Catálogo de Dados dos Municípios de Goiás, 2000 (www.goiás.gov.br))

Assim a produção agropecuária anual sacrificada pelo alagamento da área seria aquela mostrada pelo quadro 42.

Quadro 42 – Produção Agropecuária Sacrificada pelo Alagamento

Produção Agrícola Sacrificada	Preço Mercado	Fonte do Preço	Valor Sacrificado	
Cana	3.712,29 t	16,51 / t	DATAGRO	61.289,86
Milho	3.708,77 t	9,00 / 60 kg	GM/ comum atacado	556.315,92
Soja	1.683,92 t	20,00 / 60 kg	GM/ Barreiras	561.306,70
Feijão	116,53 t	45,00 / 60 kg	GM/ Barretos	87.397,29
Arroz	491,20 t	12,00 / 60 kg	GM/ casca ests. centrais	98.240,45
Mandioca	911,91 t	5,00 / 23 kg	GM/ média	198.241,47
Café	11,82 t	123,16 / 60 kg	GM/ cerrado	24.258,13
Abacaxi	57,69 t	104,00 / 110 kg	GM/ pérola médio	54.538,74
Banana	197,55 t	15,73 / 19 kg	GM/ prata MG	163.548,77
Melancia	387,97 t	0,31 / kg	GM/ média	120.271,51
Manga	0,37 t	3,00 / 7,7 kg	GM/ média	144,00
Maracujá	16,17 t	13,20 / 13 kg	GM/ azedo A	16.421,41
Produção Pecuária Sacrificada	Preço Mercado	Fonte do Preço	Valor Sacrificado	
Bovinos (corte)	49.403,44 cab	491,00 / cab	GM/ médio boi magro	24.257.087,02
Suínos (corte)	3.947,81 cab	29,00 / 15 kg ⁹³	GM/ suíno em pé	763.243,78
Aves (corte)	26.673,46 cab	0,81 / un	GM/ frango corte vivo	21.605,50
Ovos	65.849,24 dz	21,00 / 30 dz	GM/ granja médio	46.094,47
Leite	4.284.896,64 l	0,39 / l	GM/ média tipos B e C	1.671.109,69
Produção Agropecuária Anual Sacrificada			28.701.114,70	

Fonte: Elaboração própria (GM = Gazeta Mercantil 12/2000)

⁹³ Considerando que um porco vai para o abate com um peso médio de 100 Kg, teríamos R\$ 193,33 /cab.

Em valores presentes o dano total, para um horizonte de trabalho de 50 anos, considerando as perdas sacrificadas de madeira serrada e carvão vegetal distribuídas respectivamente em 50 e 3 anos, é de: R\$ 1.741.991.735,00 (desconto 0%), R\$ 673.630.607,23 (desconto 6%), e R\$ 481.788.064,03 (desconto de 10%).

Logo a perda anual equivalente do horizonte de 50 anos a taxa de desconto de 0% seria de $1.741.991.735,00 \div 50 = \text{R\$ } 34.839.834,70$.

5.2.2. Impactos da alteração do fluxo pela sedimentação e assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso hídrico (abastecimento, irrigação, controle de cheias e geração)

Segundo o PBA (FURNAS 1996) os únicos usos decorrentes da usina são a geração de energia e o controle de enchentes. Como a erosão afeta a produtividade destas atividades, será adotada a técnica de análise da produtividade marginal, enfocando o impacto da erosão na magnitude do benefício destas.

Os estudos ambientais pesquisados em FURNAS, não apresentam estudos hidrosedimentométricos da bacia de drenagem de Serra da Mesa. Assim, partiremos dos dados hidrosedimentológicos de Tucuruí apresentados em um estudo para a Comissão Mundial de Barragens (LA ROVERE, 2000), para estimar uma taxa de sedimentação anual para Serra da Mesa.

Segundo o estudo hidrosedimentológico de Tucuruí, considerando as tendências hidrosedimentológicas da época (março 1982), o rio Tocantins contribuía no assoreamento do reservatório com uma carga variando de 100.000 a 800.000 t/dia (média de 450 t/dia) e o rio Araguaia com uma carga próxima a 130.000 t/dia, isto oriundo de uma bacia de drenagem total 758.000 km² (LA ROVERE 2000).

Mantidas estas tendências hidrosedimentológicas, considerando que em Serra da Mesa, contribui exclusivamente a bacia do Tocantins, com uma área de drenagem total de 50.975 km², teríamos uma carga média de 450 t/dia x (50,975/758.000,0) = 30,262 t/dia. Para uma densidade média de 0,67 m³/t, teríamos chegando no reservatório 20,276 m³/dia, ou ainda, 20,276 m³/dia x 365 dia/ano = 7.400,74 m³/ano. Como este reservatório não possui limpador de fundo este é o volume que é efetivamente sedimentado. Deste volume sedimentado, apenas uma parcela ocorre no volume útil, parcela esta calculada por $7.400,74 \text{ m}^3/\text{ano} \times (43,25 \text{ km}^3 / 54,4 \text{ km}^3) = 5.883,86 \text{ m}^3/\text{ano}$.

O Plano de Expansão 1999/2008 nos fornece que a tarifa média de fornecimento ao consumidor final é de US \$ 80,97 / MWh, e que o custo marginal de operação padrão é varia de US \$ 35,00 / MWh (2000) a US \$ 45,00 / MWh (2025). Adotando um custo médio de US \$ 40,00 / MWh, os benefícios anuais da geração de energia são de US \$ 40,97 / MWh. Considerando que Serra da Mesa tem uma potência nominal instalada de 1275 MW ou ainda uma energia média de 735 MW, estes benefícios seriam de 40,97 \$ / MWh x (735 x 365dias x 24 horas/dia = 6.438.600 MWh) = US \$ 263,789 x 10⁶ / ano. Uma vez que não dispomos de cálculos nacionais para os ganhos da regularização, adotaremos a mesma proporção com os ganhos de energia dos estudo de Nam Pong, o que nos leva a benefícios anuais de US \$ 116,786 x 10⁶ / ano. Assim, os benefícios anuais do projeto no ano base, isto é, sem perda de volume por sedimentação, são de US \$ 380,575 x 10⁶, ou ainda considerando 1 US \$ = 1,9 R\$, de R\$ 723,093 x 10⁶.

Para se calcular como variam os benefícios ao longo do tempo, adota-se a hipótese de que os benefícios anuais são uma função linear da capacidade efetiva de armazenamento⁹⁴. Como o volume útil do reservatório é de 43,25 km³, ou ainda 43,25 x 10⁹ m³. Assim a perda de benefício é de R\$ 723,0925 x 10⁶ ÷ 43,25 x 10⁹ m³ = R\$ 0,016719 / m³.

Apesar do tempo de vida físico do reservatório ser de mais de 100 anos, escolhemos um período de análise de 50 anos, devido a este ser um período mais do que suficiente para contabilização de todos os custos e benefícios quando uma taxa de desconto positiva é usada (para uma taxa de 10% estes são recuperados nos primeiros 30 anos). O quadro 43 calcula estas perdas no período de análise.

Quadro 43 – Perda de Benefícios por Sedimentação

Ano	Redução Anual Acumu.	Perda de Benef. Anual	Valor Presente a Taxa de Desconto de:		
			0%	6%	10%
1	5.883,86	98,37	98,37	92,80	89,43
2	11.767,72	196,74	196,74	175,10	162,60
3	17.651,58	295,12	295,12	247,79	221,73
4	23.535,44	393,49	393,49	311,68	268,76
5	29.419,30	491,86	491,86	367,55	305,41
6	35.303,16	590,23	590,23	416,09	333,17
7	41.187,02	688,61	688,61	457,96	353,36

Fonte: Elaboração própria.

⁹⁴ Esta hipótese foi baseada nos estudos do reservatório de Nam Pong.

Quadro 43 – Perda de Benefícios por Sedimentação

Ano	Redução Anual Acumu.	Perda de Benef. Anual	Valor Presente a Taxa de Desconto de:		
			0%	6%	10%
8	47.070,88	786,98	786,98	493,76	367,13
9	52.954,74	885,35	885,35	524,04	375,47
10	58.838,60	983,72	983,72	549,31	379,27
11	64.722,46	1.082,09	1.082,09	570,03	379,27
12	70.606,32	1.180,47	1.180,47	586,66	376,13
13	76.490,18	1.278,84	1.278,84	599,57	370,43
14	82.374,04	1.377,21	1.377,21	609,14	362,66
15	88.257,90	1.475,58	1.475,58	615,71	353,24
16	94.141,76	1.573,96	1.573,96	619,58	342,54
17	100.025,62	1.672,33	1.672,33	621,04	330,86
18	105.909,48	1.770,70	1.770,70	620,35	318,48
19	111.793,34	1.869,07	1.869,07	617,75	305,61
20	117.677,20	1.967,45	1.967,45	613,46	292,45
21	123.561,06	2.065,82	2.065,82	607,67	279,16
22	129.444,92	2.164,19	2.164,19	600,57	265,86
23	135.328,78	2.262,56	2.262,56	592,33	252,68
24	141.212,64	2.360,93	2.360,93	583,10	239,70
25	147.096,50	2.459,31	2.459,31	573,02	226,98
26	152.980,36	2.557,68	2.557,68	562,20	214,60
27	158.864,22	2.656,05	2.656,05	550,78	202,60
28	164.748,08	2.754,42	2.754,42	538,85	191,00
29	170.631,94	2.852,80	2.852,80	526,50	179,84
30	176.515,80	2.951,17	2.951,17	513,83	169,13
31	182.399,66	3.049,54	3.049,54	500,90	158,88
32	188.283,52	3.147,91	3.147,91	487,79	149,09
33	194.167,38	3.246,28	3.246,28	474,56	139,77
34	200.051,24	3.344,66	3.344,66	461,27	130,92
35	205.935,10	3.443,03	3.443,03	447,96	122,52
36	211.818,96	3.541,40	3.541,40	434,67	114,56
37	217.702,82	3.639,77	3.639,77	421,46	107,04
38	223.586,68	3.738,15	3.738,15	408,35	99,94
39	229.470,54	3.836,52	3.836,52	395,37	93,24
40	235.354,40	3.934,89	3.934,89	382,56	86,94
41	241.238,26	4.033,26	4.033,26	369,93	81,01
42	247.122,12	4.131,63	4.131,63	357,50	75,44
43	253.005,98	4.230,01	4.230,01	345,29	70,22
44	258.889,84	4.328,38	4.328,38	333,32	65,32
45	264.773,70	4.426,75	4.426,75	321,60	60,73
46	270.657,56	4.525,12	4.525,12	310,14	56,44
47	276.541,42	4.623,50	4.623,50	298,95	52,42
48	282.425,28	4.721,87	4.721,87	288,03	48,67
49	288.309,14	4.820,24	4.820,24	277,38	45,17
50	294.193,00	4.918,61	4.918,61	267,02	41,90
	TOTAL (em R \$)		125.424,63	22.942,36	10.309,87

Fonte: Elaboração própria.

Em valores presentes a perda de benefícios totais (energia elétrica e controle de enchentes) pela erosão e sedimentação, com redução do volume do lago, é de: R\$ 125.424,63 (desconto 0%), R\$ 22.942,36 (desconto 6%), e R\$ 10.309,87 (desconto de 10%). Assim a perda anual equivalente média do período de 50 anos a uma taxa de desconto de 0% é de R\$ 2.508,49.

5.2.3. Impactos da alteração do fluxo sobre a navegação

A navegação no alto Tocantins foi constantemente utilizada pelos então portugueses, na época do ciclo do ouro, durante o século XVIII. Hoje esta praticamente não é utilizada, apresentando apenas dois remanescentes de portos, só identificados pela tradição oral (FURNAS 1990). Assim, consideraremos os impactos a navegação como não relevantes.

5.2.4. Impactos pela alteração do fluxo com efeitos à saúde pela criação de condições propícias a vetores de doenças de veiculação hídrica (diarréia, mosquitos, malária)

Os quadros 44 e 45 apresentam as estatísticas de internações na rede do SUS baseado no banco de dados datasus de 1984 à 2000.

Quadro 44 – Número de internações por tipo de doença nos municípios de Barro Alto, Campinaçu, Campinorte, Colinas do Sul, Minaçu, Niquelândia, São Luiz do Norte, Uruaçu (Goiás):

Doença	92	93	94	95	96	97	98	99	00
Esquistossomose	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leptospirose	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Febre Amarela	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Malária	21	10	21	4	1	0	0	2	4
Leshimaniose	2	2	0	1	0	3	0	0	1
Dengue	0	0	0	0	0	1	3	1	1
Cólera	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Tifo	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Amebíase e Outros Microorg.	0	0	0	51	0	5	2	1	0

Fonte: DATASUS 2000. Consultada a base de dados de 1984/97 segundo a classificação CID 9 e de 1998/out 2000 segundo a classificação CID 10.

Quadro 45 – Número de internações por tipo de doença na mesoregião do norte de Goiás:

Doença	92	93	94	95	96	97	98	99	00
Esquistossomose	1	1	5	1	0	0	0	0	0
Leptospirose	2	1	0	1	0	0	0	1	0
Febre Amarela	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Malária	36	22	38	8	4	4	0	7	11
Leshimaniose	5	3	6	3	0	3	0	6	12
Dengue	0	0	0	0	0	1	3	1	1
Cólera	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Tifo	1	0	0	2	0	0	1	1	0
Amebíase e Outros Microorg.	0	1	0	72	0	5	2	1	0

Fonte: DATASUS 2000. Consultada a base de dados de 1984/97 segundo a classificação CID 9 e de 1998/out 2000 segundo a classificação CID 10.

As obras de execução de Serra da Mesa foram realizadas segundo o seguinte cronograma: 1984/86 – instalação do acampamento piloto, 1986/88 – desvio do rio, 1988 – entrada da construtora Camargo Corrêa para execução das obras principais (a previsão de início de operação era 1993, porém pouco tempo depois a obra paralisou pela retração no mercado de energia), 1993 – entrada do capital privado para conclusão das obras (Serra da Mesa Energia), 1996 (out) – licença de operação, 1998 (out) – acionamento da turbina.

Ainda que os dados na região norte de Goiás só tenham sido registrados a partir de 1992, o número de caso de doenças tanto nos municípios diretamente afetados, quanto na mesoregião do norte de Goiás, não se mostram afetados, nem pelo reinício das atividades construtivas em 1993, nem pelo fim das obras e enchimento do lago a partir de 1996. Partindo da premissa que os dados são confiáveis, aparentemente os danos causados pela criação de um ambiente propício a proliferação de vetores e consequentemente propício ao aumento do número de casos de doença, não são relevantes.

Apenas para demonstrar a aplicação do método, valoraremos no item 5.2.4.1 o dano causado pelo aumento do número dos casos de malária pela criação da barragem de Tucuruí.

5.2.4.1. Impactos pela alteração do fluxo com aumento do número dos casos de malária pela criação da barragem de Tucuruí.

A região a montante da hidrelétrica de Tucuruí caracteriza-se por ser uma área de alto risco de malária, pois existe a floresta tropical que favorece a transmissão e grupos de risco em constante movimento na área (garimpeiros, madeireiros, agricultores).

Na região da barragem, o crescimento e declínio da malária coincide com o período de construção e operação da hidrelétrica. Tomando para estudo de caso o município de Tucuruí⁹⁵, verificamos no quadro 46 que a partir do final de 1975, quando foram iniciadas as obras da fase 1 (24/11/75) observa-se um crescimento explosivo da malária, crescimento este que atinge seu máximo em 1984, justamente quando se inicia a operação comercial da fase 1 da usina. No período de operação da barragem, o número de casos de malária tem se mantido superior a média de casos antes da construção devido a presença do lago, associada a manutenção da existência do vetor (*A. darlingi*) e do baixo controle (LA ROVERE, 2000).

Quadro 46 – número de casos de malária no município de Tucuruí entre 1962 e 1998.

Ano	Casos positivos	Ano	Casos positivos
1962	106	1981	4479
1963	93	1982	6992
1964	28	1983	8519
1965	15	1984	10126
1966	152	1985	1411
1967	111	1986	650
1968	39	1987	1063
1969	8	1988	2103
1970	251	1989	2801
1971	174	1990	2165
1972	210	1991	Não levantado
1973	600	1992	7058
1974	320	1993	6094
1975	251	1994	3439
1976	1127	1995	3117
1977	3387	1996	1567
1978	2762	1997	1423
1979	4953	1998	1895
1980	3691		

Fonte: Fundação Nacional de Saúde. In: La Rovere, 2000.

⁹⁵ Escolhido pela disponibilidade de dados de casos de malária neste município.

A média do número de casos no período anterior à construção da barragem (1962 à 1975) é de 106,43 \approx 106 casos. O quadro 47 nos mostra o número de casos acima desta média durante a após a construção.

Quadro 47 – número de casos de malária no município de Tucuruí entre 1962 e 1998.

Ano	Acima da média	Ano	Acima da média
1976	959	1985	1243
1977	3219	1986	482
1978	2594	1987	895
1979	4785	1988	1935
1980	3523	1989	2633
1981	4311	1990	1997
1982	6824	1991	
1983	8351	1992	6890
1984	9958	1993	5926
Total construção	44.524	1994	3271
		1995	2949
		1996	1399
		1997	1255
		1998	1727
		Total após	32.602
Total geral			77.126

Fonte: Elaboração própria.

Considerando a disposição a pagar para evitar o aumento do risco de contrair malária, dada pelo quadro 15, corrigida para valores atuais⁹⁶, de R\$ 2.122,44 (2000), o os danos pelo aumento dos casos de malária, devido a construção da usina, relacionados apenas ao município de Tucuruí, seriam: no período da construção 44.524 x R\$ 2.122,44 = R\$ 94.499.518,56; no período após a construção (até 1998) 32.602 x R\$ 2.122,44 = R\$ 69.195.788,88; no total R\$ 163.695.307,44.

Este estudo poderia ser ampliado para um horizonte de trabalho de 50 anos considerando a tendência de variação após a construção, e ainda estendido para outros municípios no entorno do lago, considerando mantidas as taxas de morbidade e variando as densidades populacionais, contudo para efeito de demonstração da aplicabilidade do método, consideramos a análise feita até o momento como satisfatória.

5.2.5. Impactos das fases de construção e operação sobre os recursos minerais

Conforme observado no quadro 31 foram alagados 864 ha de área de exploração mineral. Nesta área, pelos registros do DPMN, foram parcialmente alagadas 54 áreas

⁹⁶ Corrigida pelo IPC (FGV): 1667,10 x 188,608 (jul 2000) +148,145 (1996) = 2.122,44

com pedido de pesquisa, 122 áreas com alvará de pesquisa, e apenas 5 áreas com o pedido de lavra concedido (FURNAS 1996). Estas estão apresentadas no quadro 48.

Quadro 48 – Áreas de Exploração Mineral Alagadas

Processo DPMN	Área Total (ha)	Requerente	Substância
002012/39	24652	Cia Níquel Tocantins	Cobalto, cobre e níquel
002411/65	324	Codemin SA	Amianto, níquel e mica
000490/67	150	Codemin SA	Níquel
000780/67	103	Mineradora Mortida Ltda	Manganês
811113/68	541	Codemin SA	Níquel

Fonte: FURNAS 1990.

Contudo não constam nos estudos ambientais, as parcelas de áreas de lavra alagadas, nem nos registros da CPRM, as reservas relativas às áreas de lavra. Assim, devido a falta de dados, fica impossibilitada a valoração destes danos.

5.2.6. Impactos das emissões de gases de estufa sobre a mudança do clima

A usina de Serra da Mesa tem uma área de reservatório de 1784 Km² (1.784.000.000 m²). Segundo os dados do quadro 16, Santos (2000), podemos considerar para uma hidrelétrica uma emissão média de 356,88 mg/ m² x dia de CO₂ e 18,29 mg/ m² x dia de CH₄. Considerando o potencial de aquecimento global do IPCC 95 para o metano de 21, teríamos uma emissão média equivalente de CO₂ de 356,88 + 21 x 18,29 = 740,97 mg/ m² x dia de CO₂. Considerando a área alagada de 1.784.000.000 m² teríamos 1,321890 x 10¹² mg / dia de CO₂ = 1.321,89048 t/dia de CO₂ x (365 dia/ano) x (12/44 C/CO₂) = 131.588,1887 t / ano de C equivalente. Considerando o preço de mercado de carbono do Prototype Carbon Fund do Banco Mundial de 20 US \$ / t C teríamos um dano de US \$ 2.631.763,77 / ano. Tomando 1 US \$ = 1,90 R \$, daria R\$ 5.000.351,17 / ano.

Em valores presentes o dano pelas emissões de gases de estufa, para um horizonte de trabalho de 50 anos, é de: R\$ 250.017.559,50 (desconto 0%), R\$ 78.814.838,39 (desconto 6%), e R\$ 49.577.554,33 (desconto de 10%).

5.2.7. Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes)

Considerando que Serra da Mesa tem uma potência nominal instalada de 1275 MW ou ainda uma energia média de 735 MW, ela geraria por ano 735 x 365dias x 24

horas/dia = 6.438.600 MWh. As obras de execução de Serra da Mesa foram realizadas segundo o seguinte cronograma: 1984/86 – instalação do acampamento piloto, 1986/88 – desvio do rio, 1988 – entrada da construtora Camargo Corrêa para execução das obras principais (a previsão de início de operação era 1993, porém pouco tempo depois a obra paralisou pela retração no mercado de energia), 1993 – entrada do capital privado para conclusão das obras (Serra da Mesa Energia), 1996 (out) – licença de operação, 1998 (out) – acionamento da turbina. O período inicialmente previsto de 1994/93 é de dez anos, e o tempo efetivamente trabalhado foi aproximadamente este, se contabilizarmos as paralisações entre 1988 e 1993. Com um tempo de construção de 10 anos, para um horizonte de 50 anos, as estatísticas do quadro 18 seriam.

Quadro 49 – Acidentes de Trabalho – GRIDIS

Etapa	Nº Ac. Típicos c/ Afast. ÷ ano	Dias Afst. Méd. ÷ ano	Nº Mortes ÷ ano	Nº Ac. Típicos s/ Afast. ÷ ano	Nº Ac. Trajeto c/ Afast. ÷ ano
Construção	216,89	22,18	1,33	62,50	26,00
10 anos constr. ÷ 50 anos VU	43,378		0,266	12,5	5,2
÷ MWh x ano	$0,222753 \times 10^{-6}$		$0,001366 \times 10^{-6}$	$0,06419 \times 10^{-6}$	$0,02670 \times 10^{-6}$
Etapa	Nº Ac. Típicos c/ Afast. ÷ (MWh x ano)	Dias Afastamento Típico Médio	Nº Mortes ÷ (MWh x ano)	Nº Ac. Típicos s/ Afast. ÷ (MWh x ano)	Nº Ac. Trajeto c/ Afast. ÷ (MWh x ano)
Geração / Transmissão	$3,82514 \times 10^{-6}$	21,38	$0,05248 \times 10^{-6}$	$2,14650 \times 10^{-6}$	$0,81007 \times 10^{-6}$
Distribuição	$8,21740 \times 10^{-6}$	22,56	$0,17003 \times 10^{-6}$	$3,38536 \times 10^{-6}$	$0,88197 \times 10^{-6}$
Outros	$3,36128 \times 10^{-6}$	21,26	$0,03138 \times 10^{-6}$	$1,35568 \times 10^{-6}$	$1,35697 \times 10^{-6}$
Total	$15,6266 \times 10^{-6}$	21,98611	$0,25526 \times 10^{-6}$	$6,95173 \times 10^{-6}$	$3,07571 \times 10^{-6}$

Fonte: Elaboração própria com dados do Anexo 3.

Levando em conta os custos (disposição a pagar) por caso de acidente do quadro 19 corrigidos, teríamos:

Quadro 50 – Custos de saúde ocupacional de Serra da Mesa.

	Típico c/ afastam.	Típico s/ afastam.	Trajeto c/ afastam.	Morte ⁹⁷
Nº acidente / (MWh)	$15,6266 \times 10^{-6}$	$6,95173 \times 10^{-6}$	$3,07571 \times 10^{-6}$	$0,25526 \times 10^{-6}$
6.438.600 MWh / ano				
Nº acidente / ano	100,61325	44,75941	19,80328	1,64349
DAP / acidente	11.573,60 (R\$ 96)	5,03 (R\$ 96)	3.779,59 (R\$ 96)	929.743,75 (US \$ 92)
Considerando o IPC dos EUA em 1992 = 107,4 e em 07/2000 = 131,8; o dólar 07/2000 (paralelo) = 1,9295; e o IPC (FGV) do Brasil em 1996 = 148,145 e em 07/2000 = 188,608, temos:				
DAP / acidente (R\$ 07/2000)	14.734,71	6,40	4.811,91	2.201.502,48
Custo / ano	1.482.507,09	286,63	95.291,69	3.618.149,49
Custo total / ano				5.196.234,91

Fonte: Elaboração própria

⁹⁷ Adotado para valor de morte o valor da vida estatística do quadro 10 com $e = 0,54$ e o fator 2.

Em valores presentes o dano de saúde ocupacional (acidentes), para um horizonte de trabalho de 50 anos, é de: R\$ 259.811.745,36 (desconto 0%), R\$ 81.902.330,50 (desconto 6%), e R\$ 51.519.705,24 (desconto de 10%).

5.3.Complexo Termelétrico RioGen – RioGen Merchant

As características técnicas do projeto RioGen / RioGen Merchant são:

Quadro 51 – Complexo Termelétrico RioGen – RioGen Merchant

Localização	Seropédica - RJ
UTE RioGen Merchant	
Capacidade Total da Usina (E Firme)	355 MW
Ciclo Termodinâmico	A Gás
Geradores de Turbina a Gás GTG Sprint LM6000PC da General Electric (GE) com injeção de água para redução de NO _x	8 x 44,375 MW
Temperatura de Escape	454 ° C
Fluxo de Escape	165,4 m ³ /s
Início da Construção	Setembro 2000
Início da Operação	Julho 2001
UTE RioGen	
Capacidade Total da Usina (E. Firme)	≈1000 MW
Ciclo Termodinâmico	Ciclo Combinado
Consumo de Combustível (100% capacidade)	195.000 m ³ /h
Turbinas a Gas	4 x 170 MW
Potência Total Turbinas a Gás	680 MW
Vazão dos Gases de Exaustão	3.530.452 m ³ /h
Temperatura dos Gases de Exaustão na Saída do Ciclo Simples	609 ° C
Gerador de Turbina a Gás	4 x 60 Hz
Chaminés das Caldeiras de Recuperação	4 x 40 m
Temperatura dos Gases de Exaustão na Saída da Caldeira de Recuperação	96 a 120 ° C
Turbinas a Vapor	2 x 160 MW
Potência Total Turbinas a Vapor	320 MW
Gerador de Turbina a Vapor	2 x 60 Hz
Início da Construção	Novembro 2000
Início da Operação	Junho 2003 ⁹⁸

Fonte: EIA RioGen, 2000; EIA RioGen Merchant, 2000.

⁹⁸ Previsão da licença de operação, antes está previsto a usina operar por condicionamento usando diesel e gás.

5.3.1. Impactos das fases de construção e operação sobre a saúde ocupacional (acidentes)

Considerando que o Complexo RioGen – RioGen Merchant tem uma capacidade total de 1.355 MW, ele geraria por ano $1.355 \times 365 \text{ dias} \times 24 \text{ horas/dia} = 11.869.800$ MWh. Levando em conta as estatísticas de acidente e os custos (disposição a pagar) por caso de acidente (trazidos para o Brasil com $e = 0,54$ e o fator 2) fornecidas pelos quadros 20 e 21, teríamos:

Quadro 52 – Custos de saúde ocupacional do Complexo RioGen – RioGen Merchant - Exploração Offshore, Operação Offshore, Const. Gasoduto e Usina Tratamento, Operação Usina Tratamento

	Acidentes Leves	Acidentes Graves	Acidentes Fatais / Morte
Nº acidente / MWh	$0,9029 \times 10^{-6}$	$0,1532 \times 10^{-6}$	$0,003239 \times 10^{-6}$
11.869.800 MWh / ano			
Nº acidente / ano	10,71724	1,81845	0,03845
DAP / acidente	150,19 (US \$ 1992)	10012,63 (US \$ 1992)	929.743,75 (US \$ 1992)
Considerando o IPC dos EUA em 1992 = 107,4 e em 07/2000 = 131,8; e o dólar 07/2000 (paralelo) = 1,9295, temos:			
DAP / acidente (R\$ 07/2000)	355,63	23.708,50	2.201.502,48
Custo / ano	3.811,36	43.112,80	84.639,59
Custo total / ano			131.563,75

Fonte: Elaboração própria

Considerando os 10 meses de construção da RioGen Merchant e os 2 anos e 7 meses da RioGen, teríamos um período total de construção para o complexo de 3 anos e 5 meses. Assim, para uma vida útil de 30 anos, as estatísticas de acidentes do quadro 18 seriam:

Quadro 53 – Acidentes de Trabalho – GRIDIS

Etapa	Nº Ac. Típicos c/ Afast. ÷ ano	Dias Afst. Méd. ÷ ano	Nº Mortes ÷ ano	Nº Ac. Típicos s/ Afast. ÷ ano	Nº Ac. Trajeto c/ Afast. ÷ ano
Construção	216,89	22,18	1,33	62,50	26,00
3 a 5 ms constr. ÷ 30 anos VU	24,701		0,151	7,118	2,961
÷ MWh x ano	$0,126846 \times 10^{-6}$		$0,000778 \times 10^{-6}$	$0,036552 \times 10^{-6}$	$0,015206 \times 10^{-6}$
Etapa	Nº Ac. Típicos c/ Afast. ÷ (MWh x ano)	Dias Afastamento Típico Médio	Nº Mortes ÷ (MWh x ano)	Nº Ac. Típicos s/ Afast. ÷ (MWh x ano)	Nº Ac. Trajeto c/ Afast. ÷ (MWh x ano)
Geração / Transmissão	$3,82514 \times 10^{-6}$	21,38	$0,05248 \times 10^{-6}$	$2,14650 \times 10^{-6}$	$0,81007 \times 10^{-6}$
Distribuição	$8,21740 \times 10^{-6}$	22,56	$0,17003 \times 10^{-6}$	$3,38536 \times 10^{-6}$	$0,88197 \times 10^{-6}$
Outros	$3,36128 \times 10^{-6}$	21,26	$0,03138 \times 10^{-6}$	$1,35568 \times 10^{-6}$	$1,35697 \times 10^{-6}$
Total	$15,5307 \times 10^{-6}$	21,98491	$0,25467 \times 10^{-6}$	$6,92409 \times 10^{-6}$	$3,06422 \times 10^{-6}$

Fonte: Elaboração própria com dados do Anexo 3.

Com os dados de custos (disposição a pagar) por caso de acidente do quadro 19 corrigidos, teríamos:

Quadro 54 – Custos de saúde ocupacional do Complexo RioGen – RioGen Merchant
Construção, Geração / Transmissão, Distribuição, Outros

	Típico c/ afastam.	Típico s/ afastam.	Trajeto c/ afastam.	Morte ⁹⁹
Nº acidente / (MWh x ano)	15,5307 x 10 ⁻⁶	6,92409 x 10 ⁻⁶	3,06422 x 10 ⁻⁶	0,25467 x 10 ⁻⁶
11.869.800 MWh				
Nº acidente / ano	184,34630	82,18756	36,37168	3,02288
DAP / acidente	11.572,97 (R\$ 96)	5,03 (R\$ 96)	3.779,59 (R\$ 96)	929.743,75 (US \$ 92)
Considerando o IPC dos EUA em 1992 = 107,4 e em 07/2000 = 131,8; o dólar 07/2000 (paralelo) = 1,9295; e o IPC (FGV) do Brasil em 1996 = 148,145 e em 07/2000 = 188,608, temos:				
DAP / acidente (R\$ 07/2000)	14.733,91	6,40	4.811,91	2.201.502,48
Custo / ano	2.716.141,37	526,32	175.017,37	6.654.882,15
Custo total / ano				9.546.567,21

Fonte: Elaboração própria

Assim, o custo de saúde ocupacional anual total do complexo RioGen – RioGen Merchant seria $131.563,75 + 9.546.567,21 = \text{R\$ } 9.678.130,96$. Em valores presentes o dano de saúde ocupacional total do complexo RioGen – RioGen Merchant, para um horizonte de trabalho de 30 anos, é de: $\text{R\$ } 290.343.928,80$ (desconto 0%), $\text{R\$ } 133.217.838,59$ (desconto 6%), e $\text{R\$ } 91.234.912,86$ (desconto de 10%).

5.3.2. Impactos das emissões de gases de estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) das fases de extração / operação da plataforma de gás e da geração de energia sobre os homens, ecossistemas terrestres e aquáticos, e os sistemas não vivos

Uma vez que os estudos de impacto ambiental da RioGen e da RioGen Merchant explicitam apenas as emissões para as quais existem parâmetros de qualidade do ar definidos pelos órgãos de controle ambiental, isto é, aquelas de NO_x, SO_x, MP, CO, e THC (hidrocarbonetos totais), utilizaremos os fatores de emissão definidos no item 4.2.2 para quantificar as emissões do complexo. Assim, adotaremos¹⁰⁰ como fatores de emissão para as usinas 393 g/KWh de CO₂ e 0,013 g/KWh de N₂O no caso do ciclo combinado, e 620 g/KWh de CO₂ e 0,020 g/KWh de N₂O no caso do ciclo a gás. As

⁹⁹ Adotado para valor de morte o valor da vida estatística do quadro 10 com $e = 0,54$ e o fator 2.

¹⁰⁰ Para verificação da hipótese, podemos observar que no EIA temos uma emissão da usina de ciclo combinado de $196,56 \text{ g/s de NO}_x \times 3600 \text{ s/h} \div 1000 \text{ MW} \div 1000 \text{ KW/MW} = 0,707 \text{ g/KWh}$, o que é muito próximo dos 0,71 g/KWh de NO_x estimado pela comissão européia.

emissões médias das outras fases consideraremos para todo o complexo¹⁰¹. O quadro 55 mostra os cálculos efetuados.

Quadro 55 – Impactos das emissões de gases de estufa

	RioGen (Geração)	Merchant (geração)	Complexo (outras fases)
Capacidade (MW)	1000	355	1355
Assim temos PU (MW) x 365 d x 24 h/d x 1000 KW/MW			
Energia Gerada (KWh/ano)	$8,7600 \times 10^9$	$3,1098 \times 10^9$	$1,1870 \times 10^{10}$
Emissões (g/KWh)			
CO ₂	393	620	8,22
CH ₄	0	0	0,28
N ₂ O	0,013	0,020	0,001
Considerando o GWP do IPCC 95 para 100 anos: CH ₄ = 21; N ₂ O = 310			
CO ₂ equivalente total	$393 + 0,013 \times 310$	$620 + 0,020 \times 310$	$8,22 + 0,28 \times 21 + 0,001 \times 310$
	397,03	626,2	14,41
Considerando $1 \text{ t} = 10^6 \text{ g}$			
Emissões (t CO ₂ / ano)	$3,4780 \times 10^6$	$1,9474 \times 10^6$	$1,7104 \times 10^5$
Considerando o peso molecular do C = 12 e do CO ₂ = 44 (x 12/44)			
Emissões (t C / ano)	$9,4854 \times 10^5$	$5,3110 \times 10^5$	$4,6648 \times 10^4$
Emissões totais (t C / ano)			$1,5263 \times 10^6$
Considerando o preço do carbono evitado do PCF (Banco Mundial) = 20 US \$ / t C			
Dano Anual das Emissões de GEE (US \$)			30.525.727,52
Dano Anual das Emissões de GEE (R\$) (1 US \$ = 1,9 R \$)			57.998.882,28

Fonte: Elaboração própria

Em valores presentes o dano pelas emissões de gases de estufa, para um horizonte de trabalho de 30 anos, é de: R\$ 1.739.966.468,43 (desconto 0%), R\$ 798.344.821,63 (desconto 6%), e R\$ 546.750.502,54 (desconto de 10%).

5.3.3. Impactos das emissões atmosféricas da fase de geração de energia sobre os homens e os ecossistemas terrestres

Como foi visto no item 4.2.3.2 a formação do nitrato aerossol é um fenômeno regional. Tal fato pode ser observado pelas taxas de transformação dos compostos na principal rota de formação. Considerando a taxa de transformação de NO em NO₂ de 5% molar / s, para uma velocidade de vento média de 4,0 m/s, esta taxa seria de $5/4,0 = 1,25\%$ molar / m. Assim, teríamos 100% do NO transformado em NO₂ em $100/1,25 = 80 \text{ m}$. Até aí poderíamos considerar o efeito como local, mas, considerando a taxa de transformação de NO₂ em HNO₃ de 18% molar / h, para uma velocidade de vento média de 4,0 m/s, esta taxa seria de $18 \text{ \%}/\text{h} \div (4,0\text{m/s} \times 3600\text{s/h}) = 0,00125\%$ molar / m.

¹⁰¹ Ressaltamos que conforme explicação de nota no item 4.2.2, não contabilizaremos as emissões de NO_x para quantificação de danos causadores de efeito estufa.

Assim, teríamos 100% do NO transformado em NO₂ em $100/0,00125 = 80.000$ m. Aí o efeito passaria a ser regional, pois ainda que o HNO₃ rapidamente se dissolva em gotas de água na atmosfera nos íons H⁺ e NO₃⁻, e seja parcial ou totalmente neutralizado pelo NH₃, formando o nitrato de amônia (NH₄NO₃), normalmente estas gotas ainda não terão atingido o peso (tamanho) suficiente para vencer as forças de turbulência ascensionais e precipitarem (deposição úmida), e tal fato só ocorrerá a alguns quilômetros a frente.

Foi visto ainda, que o modelo que melhor simularia a realidade deste fenômeno seria um de trajetória lagrangeana ou um de rede euleriana. Contudo, estes modelos ainda não foram utilizados em estudos no Brasil¹⁰², e não foram disponibilizados para aplicação nesta tese. Assim, academicamente, apenas como um exercício de aplicação do método, utilizaremos o modelo de dispersão de curva gaussiana (local), considerando as taxas de transformação na rota principal de formação do nitrato aerossol.

A equação de dispersão do modelo é:

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Ao nível do solo fica:

$$C(x, y, z = 0, H) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \exp\left(\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

Onde C é a concentração ao nível do solo (g/m³), Q é a taxa de liberação de poluentes (g/s), H é a altura efetiva de liberação de poluentes (m), y é a distância (m) do ponto onde se quer medir a concentração até a direção do vento (ver figura 10), u é a velocidade do vento (m/s), σ_y é o desvio padrão do vento, da distribuição gaussiana, em relação a perpendicular horizontal à linha do vento, e σ_z é o desvio padrão do vento, da distribuição gaussiana, em relação a perpendicular vertical à linha do vento.

A altura efetiva de liberação dos poluentes é dada por $H = h + \Delta H$, onde h é a altura da chaminé e ΔH é dado pela equação de Holland.

$$\Delta H = [(V_c \times D_c) \div u] \times \{1,5 + [2,68 \times 10^{-2} \times (P) \times ((T_c - T_{ar}) \div T_c) \times (D_c)]\}$$

Onde V_c é a velocidade de saída dos gases da chaminé (m/s), D_c é o diâmetro da chaminé, P é a pressão em kPa, T_c é a temperatura de saída dos gases da chaminé, e T_{ar} é a temperatura do ar.

¹⁰² Baseado em informação do professor Luis Maia da Meteorologia da UFRJ. Segundo ele, a Petrobrás iniciou em 2000 estudos para aplicação destes modelos, mas ainda não complementou.

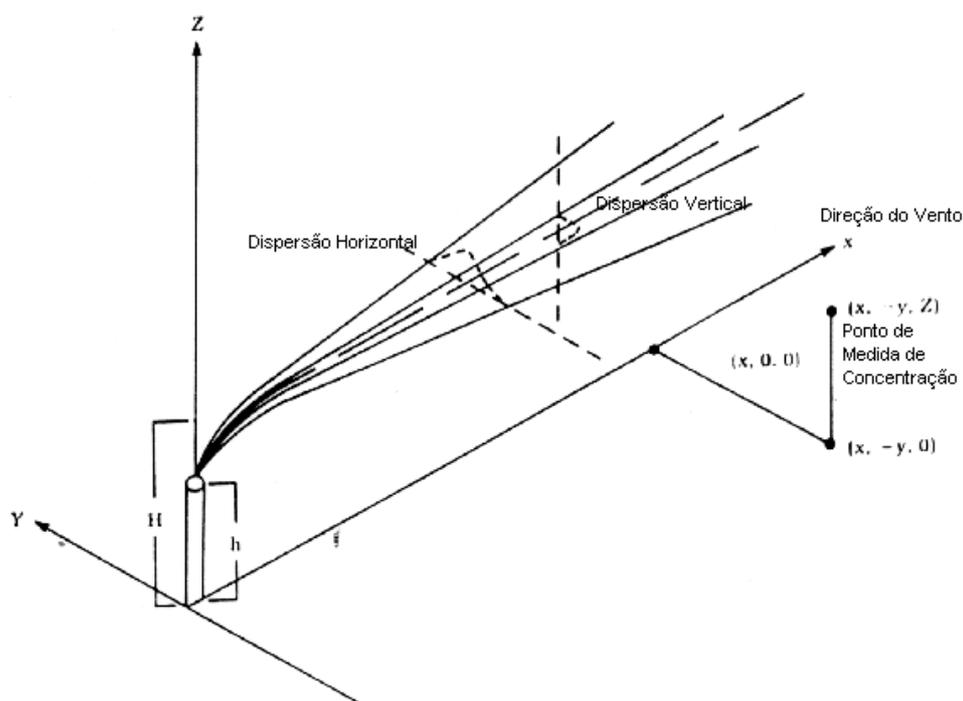


Figura 10 – Parâmetros do Modelo de Dispersão Gaussiana

Os coeficientes de dispersão σ_y e σ_z são determinados utilizando as classes de estabilidade de Pasquill. Estas definem condições de estabilidade em cada quadrante de direção do vento, dependendo da insolação, da cobertura das nuvens, e da velocidade do vento. O quadro 56 define as classes de estabilidade segundo estas condições.

Quadro 56 – Classes de estabilidade de Pasquill

Classe	Estabilidade Atmosférica				
A	Atmosfera extremamente instável				
B	Atmosfera moderadamente instável				
C	Atmosfera levemente instável				
D	Atmosfera neutra				
E	Atmosfera levemente estável				
F	Atmosfera moderadamente estável				
Velocidade do vento a 10 da superfície (m/s)	Condições Diurnas – Irradiação solar que entra			Condições noturnas ¹⁰³	
	Forte (altitude solar maior que 60° com dias claros)	Moderada (maior que 60° com 5/8 a 7/8 de nuvens)	Fraca (altitude solar de 15° a 35° com dias claros)	Cobertura fina de nuvens total ou cobertura de nuvens maior que 4/8 do céu	Cobertura de nuvens menor que 3/8 do céu
Menor que 2	A	A – B	B	-	-
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
Maior que 6	C	D	D	D	D

Fonte: Turner, Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. In: Davis 1991

¹⁰³ Considerar noite o período de 1 hora antes do por do sol até 1 hora depois do nascer do sol.

Com as classes de estabilidade e a distância na direção do vento do ponto onde se quer medir a concentração ($d=x$), os coeficientes de dispersão σ_y e σ_z são determinados a partir dos gráficos do Anexo 5 ou das equações do quadro 57.

Quadro 57 – Coeficientes de dispersão σ_y e σ_z

$\sigma_y = (M_1 \times \ln(d) + M_2) \times d$ d em (m)						
$\sigma_z = 1/(2,15) \times \exp [N_1 + (N_2 \times \ln(d)) + (N_3 \times \ln^2(d))]$ d em (m)						
Coef \ Classe	A	B	C	D	E	F
M_1	-0,0234	-0,0147	-0,0117	-0,0059	-0,0059	-0,0029
M_2	0,3500	0,2480	0,1750	0,1080	0,0880	0,0540
N_1	0,8800	-0,9850	-1,1860	-1,53500	-2,8800	-3,8000
N_2	-0,1520	0,8200	0,8500	0,7930	1,2550	1,4190
N_3	0,1475	0,0168	0,0045	0,0022	-0,0420	-0,05500

Fonte: Pasquill 1974. In: Santos 1985

Segundo a classificação Köppen, o município de Seropédica, como membro da região metropolitana do Rio de Janeiro, é subtropical de umidade moderada, com inverno seco e verão úmido. Os dados meteorológicos baseados na série histórica de 1961 a 1990 da estação meteorológica 83741 (Ecologia Agrícola)¹⁰⁴, localizada no município de Itaguaí (mais próxima do complexo); e na série de 1998 a 1999 da estação meteorológica da Base Aérea de Santa Cruz, a temperatura média anual é de 23,4 °C, a precipitação média anual é de 1.224 mm, e a pressão atmosférica média anual é de 101,09 kPa (EIA 2000).

O quadro 58 nos mostra os parâmetros de emissão do complexo RioGen – RioGen Merchant.

Quadro 58 – Parâmetros de emissão do complexo

Chaminé	Altura (m)	Diâmetro (m)	Vazão (m ³ /s)	Temperat.(k)	Veloc. (m/s)	NO _x (g/s)
RioGen Merchant: 8 turbinas e 6 compressores (355 MW)						
Compressores	4,87	0,762	13,7	788	30,11	0,79 x 6
Turbinas	27,4	2,74	165,4	727	28	12 x 8
RioGen: 4 turbinas (1.000 MW)						
Turbinas	40	5,5	485,2	375,4	20,4	49,14 x 4
Complexo (1.355 MW)						
Médias Ponder.	35,37	4,53	374,42	495,51	23,01	-
Taxa de emissão de poluentes total						297,3

Fonte: EIA, 2000

¹⁰⁴ valores da normal climatológica do DNMET (1992).

A velocidade média anual dos ventos é mostrada pelo quadro 59¹⁰⁵.

Quadro 59: Velocidade média dos ventos (valores médios anuais)

Direção	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Veloc. Média (m/s)
N	122	7	5,31
NE	415	23,9	5,18
E	173	10	3,94
SE	58	3,3	3,77
S	223	12,9	4,44
SO	385	22,2	4,04
O	339	19,5	4,92
NO	20	1,2	4,86
Total	1735	100	4,62

Fonte: EIA 2000

A figura 11 nos mostra as condições de nebulosidade – insolação¹⁰⁶ existentes na região.

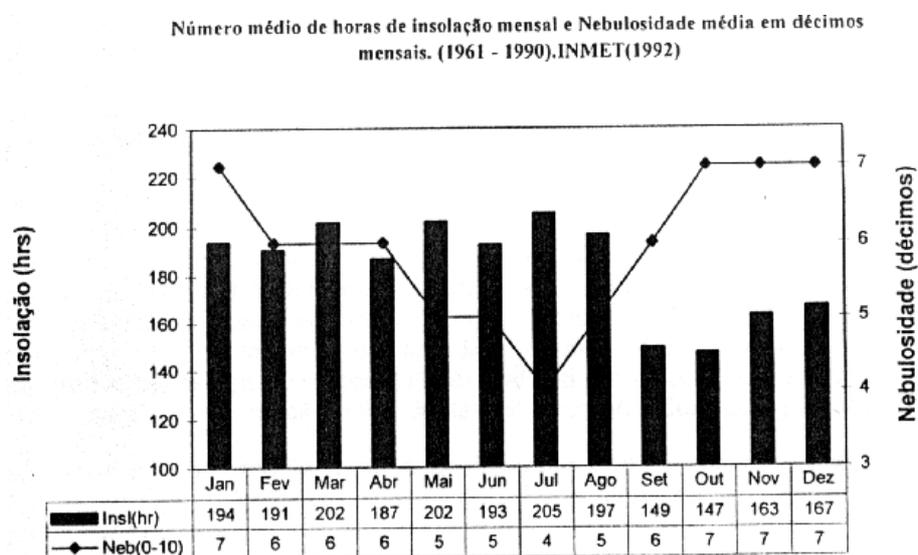


Figura 11 – Insolação e Nebulosidade.

Obviamente existe uma relação inversa entre a nebulosidade e a insolação, isto é quando aumenta a nebulosidade diminui o número de horas de insolação.

No período de abril a agosto (ápice em julho) observa-se uma grande diminuição da nebulosidade, associado a uma condição de baixa irradiação, pois é um período de final de outono – inverno e o sol passa a altitudes menores.

¹⁰⁵ Os dados de vento também obtidos das estações meteorológicas da Ecologia Rural e da Base de Santa Cruz.

¹⁰⁶ Vale ressaltar insolação é diferente de irradiação, esta se refere a energia de um feixe de luz incidente equivalente a $1 \text{ cal} / \text{cm}^2 \cdot \text{min}$, independentemente do grau de cobertura do céu, já aquela se refere ao tempo que o céu permaneceu desprovido de nebulosidade. Contudo a irradiação é um parâmetro importante nos processos turbulentos de dispersão na baixa atmosfera, fato este observado no quadro 56.

Neste período do ano, o continente está mais frio e tende a atrair anticiclones marítimos (subtropicais) para esta área mais estável (fria). Estes anticiclones (altas pressões) intensificam o movimento vertical descendente do ar sobre a região, secando a atmosfera reduzindo a nebulosidade e permitindo a maior entrada de luz solar. Nas noites o céu está claro e quase sem nuvens, permitindo a perda de calor para o espaço de forma mais efetiva, dando origem a uma camada de inversão térmica¹⁰⁷ de baixa altitude, que diminui a velocidade do vento e aumenta a estabilidade atmosférica durante a madrugada e o amanhecer. Devido a baixa elevação do sol a radiação é baixa, o que tarda um pouco mais o rompimento desta camada de inversão térmica. Assim, ocorre uma menor dispersão e maiores concentrações dos poluentes.

Nos demais meses do ano ocorre pouca atividade dos anticiclones e uma domínio dos sistemas frontais que trazem um aumento da nebulosidade. Além disto o sol passa a uma maior elevação, criando condições de irradiação que rompem mais cedo as inversões térmicas noturnas. Assim temos condições atmosféricas instáveis, favoráveis a dispersão (EIA, 2000).

Os dados de altitude solar, calculados para todos os períodos do ano, a partir de relações de astronomia, das coordenadas da região da usina e do fuso horário, que constam do anexo 6, estão resumidos no quadro 60.

Quadro 60 – Períodos de altitude solar na região do complexo

Janeiro 2000				Fevereiro 2000			
Nascente	5:30	Poente	18:30	Nascente	5:45	Poente	18:30
Dur. dia	6:30 – 17:30		660 min	Dur. Dia	6:45 – 17:30		645 min
Alt 15°/45°	6:30 – 8:45 15:15 – 17:30		270 min	Alt 15°/45°	6:45 – 9:00 15:15 – 17:30		270 min
Alt 45°/60°	8:45 – 10:00 14:15 – 15:15		135 min	Alt 45°/60°	9:00 – 10:15 14:15 – 15:15		135 min
Alt > 60°	10:00 – 14:15		255 min	Alt > 60°	10:15 – 14:15		240 min
Março 2000				Abril 2000			
Nascente	6:00	Poente	18:00	Nascente	6:15	Poente	17:30
Dur. dia	7:00 – 17:00		600 min	Dur. Dia	7:15 – 16:30		555 min
Alt 15°/45°	7:00 – 9:15 14:45 – 17:00		270 min	Alt 15°/45°	7:15 – 9:45 14:00 – 16:30		300 min
Alt 45°/60°	9:15 – 10:30 13:30 – 14:45		150 min	Alt 45°/60°	9:45 – 14:00		255 min
Alt > 60°	10:30 – 13:30		180 min	Alt > 60°			

Fonte: Elaboração própria baseado em dados do anexo 5

¹⁰⁷ Esta ocorre quando a temperatura no nível mais elevado é superior a temperatura no nível inferior, impedindo o movimento ascensional. Esta ocorre diariamente e no inverno esta camada de inversão térmica chega a sua altura média mínima (cerca 398 m no mês de julho)

Quadro 60 – Períodos de altitude solar na região do complexo

Maio 2000				Junho 2000			
Nascente	6:30	Poente	17:15	Nascente	6:45	Poente	17:15
Dur. dia	7:30 – 16:15		525 min	Dur. Dia	7:45 – 16:15		510 min
Alt 15°/45°	7:30 – 10:45 13:00 – 16:15		390 min	Alt 15°/45°	7:45 – 16:15		510 min
Alt 45°/60°	10:45 – 13:00		135 min	Alt 45°/60°			
Alt > 60°				Alt > 60°			
Julho 2000				Agosto 2000			
Nascente	6:45	Poente	17:15	Nascente	6:30	Poente	17:30
Dur. dia	7:45 – 16:15		510 min	Dur. Dia	7:30 – 16:30		540 min
Alt 15°/45°	7:45 – 11:15 12:45 – 16:15		420 min	Alt 15°/45°	7:30 – 10:15 13:45 – 14:30		330 min
Alt 45°/60°	11:15 – 12:45		90 min	Alt 45°/60°	10:15 – 13:45		210 min
Alt > 60°				Alt > 60°			
Setembro 2000				Outubro 2000			
Nascente	6:00	Poente	17:45	Nascente	5:30	Poente	18:00
Dur. dia	7:00 – 16:45		585 min	Dur. Dia	6:30 – 17:00		630 min
Alt 15°/45°	7:00 – 9:15 14:30 – 16:45		270 min	Alt 15°/45°	6:30 – 8:45 14:45 – 17:00		270 min
Alt 45°/60°	9:15 – 10:45 13:00 – 14:30		180 min	Alt 45°/60°	8:45 – 9:45 13:30 – 14:45		135 min
Alt > 60°	10:45 – 13:00		135 min	Alt > 60°	9:45 – 13:30		225 min
Novembro 2000				Dezembro 2000			
Nascente	5:15	Poente	18:15	Nascente	5:15	Poente	18:30
Dur. dia	6:15 – 17:15		660 min	Dur. Dia	6:15 – 17:30		675 min
Alt 15°/45°	6:15 – 8:30 15:00 – 17:15		270 min	Alt 15°/45°	6:15 – 8:30 15:00 – 17:30		285 min
Alt 45°/60°	8:30 – 9:30 13:45 – 15:00		135 min	Alt 45°/60°	8:30 – 9:45 14:00 – 15:00		135 min
Alt > 60°	9:30 – 13:45		255 min	Alt > 60°	9:45 – 14:00		255 min
Média Anual 2000 (Aritmética)							
Duração média do dia				591,25 min			
Média de horas nas altitudes solares de 15° a 45°				321,25 min			
Média de horas nas altitudes solares de 45° a 60°				141,25 min			
Média de horas nas altitudes solares acima de 60°				128,75 min			

Fonte: Elaboração própria baseado em dados do anexo 5

Do quadro 59 observamos que para todas as direções da rosa dos ventos, as velocidades estão entre 3 e 5 m/s. Assim, para a classificação das classes de estabilidade de Pasquill do quadro 56, temos no dia 591,25 minutos e na noite $(24 \times 60) - 591,25 = 848,75$ minutos. Da figura 11 podemos concluir que os meses de abril a agosto têm uma cobertura de nuvens menor que $3/8$ do céu, e no restante do ano não. Logo da duração da noite $(5/12) \times 848,75 = 353,65$ minutos na classe E e $(7/12) \times 848,75 = 495,10$ minutos na classe D. Da figura 11 podemos concluir que os meses de outubro a janeiro apresentam alta nebulosidade. Assim, do período diurno temos 321,25 minutos com irradiação fraca, na classe D; 128,75 minutos, com uma parcela de irradiação forte e

uma de irradiação moderada, mas ambas na classe B; e 141,25 minutos com irradiação moderada, mas com $(8/12) \times 141,25 = 94,17$ minutos na classe C, e $(4/12) \times 141,25 = 47,08$ minutos na classe B. O quadro 61 nos mostra o resumo de distribuição por classes.

Quadro 61 – Freqüência relativa segundo as classes

Classe	Tempo	Soma	Freqüência
B	175,83 min	1440 min	0,122
C	94,17 min		0,065
D	816,35 min		0,567
E	353,65 min		0,246

Fonte: Elaboração própria.

Conforme foi visto na análise feita logo ao início deste item, a uma velocidade média de 4,0 m/s, seria necessária uma distância de 80 km em linha reta sem obstáculos para que todas as reações químicas de formação do nitrato aerossol se formasse. Esta velocidade esta próxima àquelas desenvolvidas em todos os quadrantes da rosa dos ventos, conforme podemos observar no quadro 59, assim inicialmente tomamos como objeto de trabalho para análise de dispersão no entorno da usina um raio de 80 km. No entanto a oeste e a norte da usina existe a Serra das Araras, a leste está o Maciço da Pedra Branca, e ao sul o oceano Atlântico, deixando a dispersão confinada entre regiões de altitudes acima de 300 m, a um raio aproximado de 30 km.

Os municípios e regiões administrativas existentes nesta região, assim como suas coordenadas e populações estimadas em 2.000¹⁰⁸, estão dados no quadro 62.

Quadro 62 – Coordenadas e População

Área de Influência	Altitude (m)	Latitude Sul	Longitude Oeste	População 2000
Região Centro-Sul Fluminense				
Engenheiro Paulo de Frontin	395	22°32'59"	43°40'42"	12.948
Mendes	410	22°31'36"	43°43'58"	17.747
Região Metropolitana				
Belford Roxo	18	22°45'51"	43°23'58"	433.348
Itaguaí	13	22°51'08"	43°46'31"	76.058
Japeri	30	22°38'35"	43°39'12"	83.371
Nilópolis	16	22°48'27"	43°24'50"	152.787
Nova Iguaçu	25	22°45'33"	43°27'04"	873.583
Paracambi	50	22°36'39"	43°42'33"	41.869
Queimados	30	22°42'58"	43°33'19"	117.068
São João de Meriti	19	22°48'14"	43°22'20"	441.858
Seropédica	26	22°44'38"	43°42'27"	59.584

Fonte: IBGE 2000, Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro 1998, Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro 1993/94.

¹⁰⁸ As estimativas de população estão baseadas nos dados do anexo 7.

Quadro 62 – Coordenadas e População

Área de Influência	Altitude (m)	Latitude Sul	Longitude Oeste	População 2000
Município do Rio de Janeiro				
XVIII RA – Campo Grande	3	22° 54'	43° 18'	390.195
XIX RA – Santa Cruz	2	22° 55'	43° 26'	260.682
XXVI RA - Guaratiba	1	22° 58'	43° 20'	62.250

Fonte: IBGE 2000, Anuário Estatístico do Estado do Rio de Janeiro 1998, Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro 1993/94.

Foram tomados como localização para os municípios e regiões administrativas, as cidades sede, uma vez que estas são os centros populacionais do município. A figura 12 mostra a localização destas sedes e a rosa dos ventos.

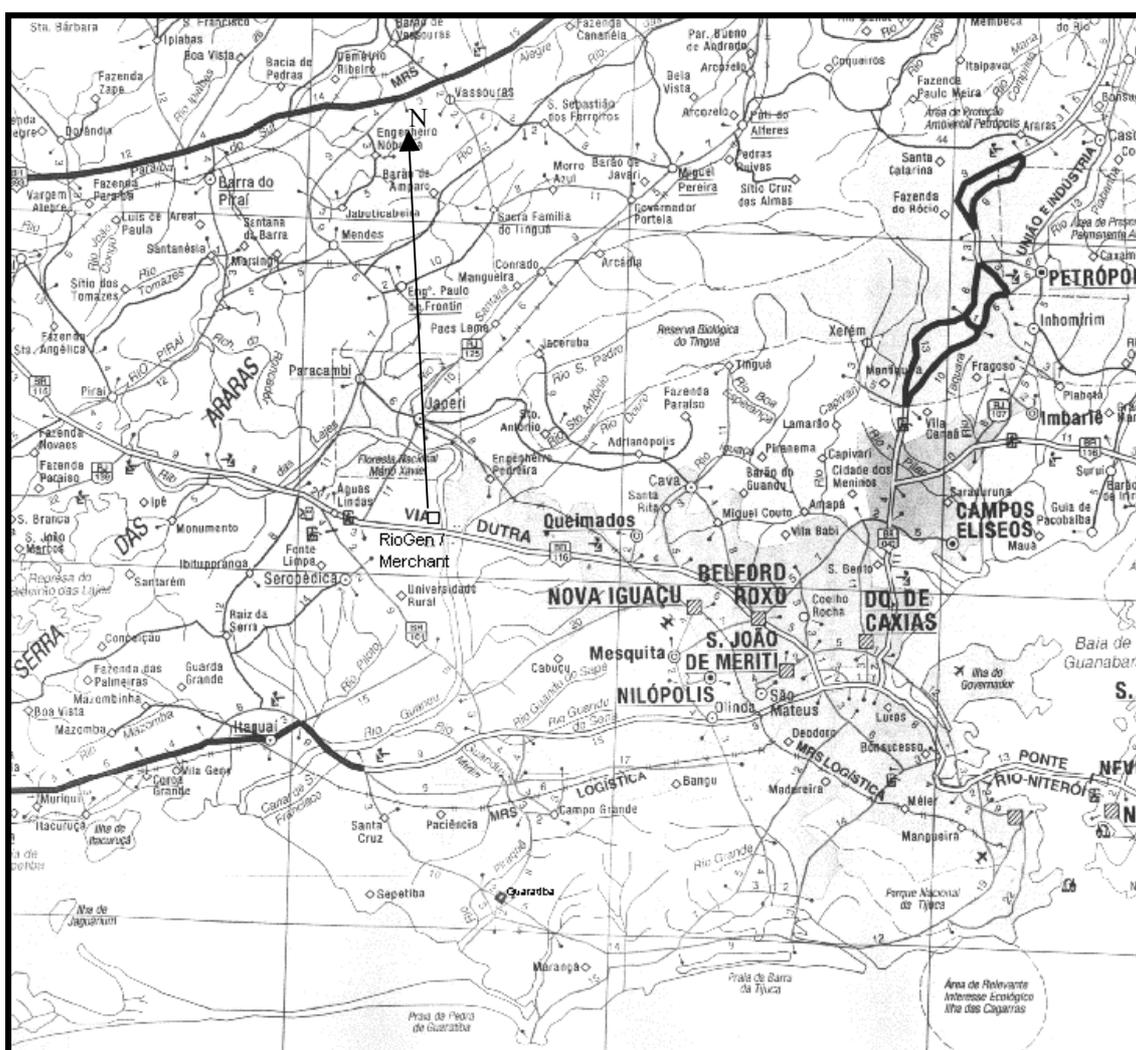


Figura 12 – Localização dos centros de Municípios e RAs

No quadro 59 verificamos que o regime de ventos foi discretizado segundo as direções principais da rosa dos ventos. A partir da observação destes quadro, podemos dizer que o vento sopra no octante N-NE em 15,45% ($7/2 + (23,9)/2$) do tempo, no

octante NE-E em 16,95% ($((23,9)/2 + 10/2)$) do tempo, e assim sucessivamente. O quadro 63 apresenta estes resultados.

Quadro 63 – Ocorrência dos ventos segundo octantes

Octante	Frequência
N-NE	15,45%
NE-E	16,95%
E-SE	6,65%
SE-S	8,10%
S-SO	17,55%
SO-O	20,85%
O-NO	10,35%
NO-N	4,1%
Total	100%

Fonte: Elaboração própria

Assim, o vento sopraria, por exemplo, no octante E-SE 6,65% do tempo. Esta porcentagem de tempo estaria dividida entre infinitas direções de vento existentes neste quadrante. Destas uma (algumas) direção estaria apontando diretamente para uma cidade, contribuindo de forma mais efetiva com a condução dos poluentes para ela; e as demais contribuiriam, para esta cidade, apenas com as parcelas de poluentes carregados que são dispersados horizontalmente na direção dela. A análise mais detalhada a ser feita para verificar a quantidade de poluentes que chega a uma determinada cidade sede seria tomar elementos de direção de vento (gomos) tão pequenos quanto a largura mínima da dispersão horizontal, e calcular a parcela direta e as de dispersão horizontal que estes levariam para esta cidade. Note que estes vários elementos de vento teriam uma pequena porcentagem do tempo do octante. De forma simplificada, adotaremos neste estudo, que o vento sopra no octante todo o tempo na pior condição, que é conduzindo os poluentes para a cidade de forma direta.¹⁰⁹

O quadro 59 nos mostra as velocidades segundo as direções principais, para determinarmos as velocidades segundo as direções das cidades ponderaremos, segundo a abertura angular da cidade para as direções principais. Por exemplo Mendes fica a 16,5° da direção N (vento = 5,31 m/s) e 28,5° ($16,5 + 28,5 = 45^\circ$) da direção NO (vento 4,86 m/s), assim o vento na direção de Mendes é de $((5,31 \times 28,5) + (4,86 \times 16,5)) \div 45$

¹⁰⁹ O vento estará o tempo todo na direção da cidade, e não haverá contribuição dos ventos laterais por dispersão horizontal. Apenas para exemplificar como seria o calculo com a dispersão horizontal, calculou-se no anexo 8 as contribuições de dispersão horizontal dos ventos nas direções N, NE, E, SE, S, SO, O, e NO.

= 5,15 m/s. O quadro 64 nos mostra o resultado dos cálculos e as distâncias na direção do vento entre a usina e as cidades sede (x).

Quadro 64 – velocidades do vento na direção das cidades sede e distâncias entre a usina e as cidades sede na direção do vento (x)

Cidades Sede	Velocidade (m/s)	Distância x (km)
Engenheiro Paulo de Frontin	5,26	18,5
Mendes	5,15	23
Belford Roxo	3,86	27
Itaguaí	4,08	21,5
Japeri	5,26	8
Nilópolis	3,81	25
Nova Iguaçu	3,86	22
Paracambi	5,06	12,5
Queimados	3,91	16,5
São João de Meriti	3,84	30,5
Seropédica	4,33	8,5
XVIII RA – Campo Grande	4,23	25
XIX RA – Santa Cruz	4,31	24
XXVI RA - Guaratiba	4,35	30,5

Fonte: Elaboração própria.

Utilizando a equação de Holland e os dados dos quadros 58 e 64 para o cálculo do ΔH , temos para a altura efetiva de liberação dos poluentes $H = h + \Delta H$, para cada uma das direções das cidades sede, os valores apresentados no quadro 65. Para a direção de Paulo de Frontin os cálculos são: $\Delta H = ((23,01 \times 4,53) \div 5,26) \times [1,5 + (2,68 \times 10^{-2} \times 101,09 \times ((495,51 - 296,4) \div 495,51) \times 4,53)] = 127,45$; $H = 127,45 + 35,37 = 162,82$ m.

Quadro 65: Altura efetiva de liberação dos poluentes

Cidades Sede	ΔH de Holland (m)	Altura H (m)
Eng Paulo de Frontin	127,45	162,82
Mendes	130,17	165,54
Belford Roxo	173,68	209,05
Itaguaí	164,31	199,68
Japeri	127,45	162,82
Nilópolis	175,96	211,33
Nova Iguaçu	173,68	209,05
Paracambi	132,49	167,86
Queimados	171,46	206,83
São João de Meriti	174,58	209,95
Seropédica	154,83	190,20
XVIII RA C. Grande	158,49	193,86
XIX RA Santa Cruz	155,54	190,91
XXVI RA Guaratiba	154,11	189,48

Fonte: Elaboração própria

Utilizando as distâncias entre a usina e as cidades sede na direção do vento (x) do quadro 64 e as equações do quadro 57, podemos obter os coeficientes de dispersão

para cada uma das classes de estabilidade de Pasquill. Ponderando estas classes de estabilidade pelas suas frequências de ocorrência, quadro 61, obtemos os coeficientes de dispersão vertical e horizontal na direção de cada cidade sede. Os cálculos são apresentados no quadro 66.

Quadro 66: Coeficientes de dispersão σ_v e σ_z na direção das cidades sede.

Cidades Sede	B	C	D	E	Ponderado
Eng Paulo de Frontin					
σ_v	1915,95	1110,76	925,54	471,86	946,81
σ_z	2774,85	929,52	299,93	102,60	594,25
Mendes					
σ_v	2308,38	1322,36	1121,13	572,12	1144,00
σ_z	3567,28	1140,47	359,87	112,44	741,04
Belford Roxo					
σ_v	2646,19	1501,69	1290,57	659,06	1314,33
σ_z	4296,61	1326,23	411,59	119,97	873,28
Itaguaí					
σ_v	2179,15	1253,09	1056,57	539,01	1078,98
σ_z	3299,67	1070,41	340,12	109,34	691,88
Japeri					
σ_v	927,11	558,80	439,80	223,50	453,78
σ_z	1070,59	424,59	149,02	69,49	259,80
Nilópolis					
σ_v	2478,46	1412,96	1206,32	615,82	1229,69
σ_z	3929,18	1233,53	385,89	116,33	806,96
Nova Iguaçu					
σ_v	2222,39	1276,31	1078,16	550,08	1100,72
σ_z	3388,50	1093,79	346,72	110,39	708,24
Paracambi					
σ_v	1366,60	807,85	654,28	333,04	672,14
σ_z	1772,30	643,84	216,17	86,14	401,83
Queimados					
σ_v	1736,57	1012,77	836,62	426,32	856,93
σ_z	2433,25	834,94	272,58	97,63	529,69
São João de Meriti					
σ_v	2934,57	1652,85	1435,93	733,71	1460,12
σ_z	4952,11	1487,66	455,86	125,86	990,29
Seropédica					
σ_v	977,47	587,69	464,25	235,97	478,73
σ_z	1146,01	449,24	156,73	71,61	275,50
XVIII RA C. Grande					
σ_v	2478,46	1412,96	1206,32	615,82	1229,69
σ_z	3929,18	1233,53	385,89	116,33	806,96
XIX RA Santa Cruz					
σ_v	2393,73	1367,90	1163,85	594,03	1186,98
σ_z	3747,53	1187,05	372,92	114,42	773,95
XXVI RA Guaratiba					
σ_v	2934,57	1652,85	1435,93	733,71	1460,12
σ_z	4952,11	1487,66	455,86	125,86	990,29

Fonte: Elaboração própria

Com os dados dos quadro 58, 64, 65, e 66 podemos aplicar a equação do modelo de dispersão. Note que como estamos considerando o vento na direção da cidade, a distância y é nula e um termo da equação torna-se igual a unidade. O quadro 67 nos mostra o resultado dos cálculos.

Quadro 67: Concentração de NO_x que chega ao nível do solo (g/m^3)

Cidades Sede	Concentração NO_x (g/m^3)
Eng Paulo de Frontin	$3,07982 \times 10^{-5}$
Mendes	$2,11413 \times 10^{-5}$
Belford Roxo	$2,07568 \times 10^{-5}$
Itaguaí	$2,98027 \times 10^{-5}$
Japeri	$1,25398 \times 10^{-4}$
Nilópolis	$2,4187 \times 10^{-5}$
Nova Iguaçu	$3,01078 \times 10^{-5}$
Paracambi	$6,34603 \times 10^{-5}$
Queimados	$4,94072 \times 10^{-5}$
São João de Meriti	$1,66649 \times 10^{-5}$
Seropédica	$1,30572 \times 10^{-4}$
XVIII RA C. Grande	$2,19041 \times 10^{-5}$
XIX RA Santa Cruz	$2,31845 \times 10^{-5}$
XXVI RA Guaratiba	$1,47725 \times 10^{-5}$

Fonte: Elaboração própria

Estas seriam as concentrações de NO_x que chegariam nas cidades sede caso o vento soprasse o tempo todo nestas direções e não ocorressem as transformações químicas durante o transporte. Com as frequências de ocorrência dos ventos nos octantes do quadro 63, calculamos as quantidades de poluentes que efetivamente chegam. Para o cálculo das transformações químicas consideramos as velocidades do quadro 64, que 5% do NO se transforma em NO_2 ainda na saída da chaminé, que a taxa de transformação do NO em NO_2 é de 5% molar/s, que a taxa de transformação do NO_2 em HNO_3 é de 18% molar/h, que segundo os dados do quadro 25 aproximadamente 60% dos gases são depositados por via úmida¹¹⁰, e que instantaneamente o HNO_3 se hidrolisa, e é totalmente “neutralizado” pela amônia aerossol em nitrato, e que o aerossol atinge neste momento uma massa crítica para precipitar¹¹¹. Os resultados estão apresentados no quadro 68.

¹¹⁰ De 0,86 a 1,6 (média 1,23) é depositado por via seca, de 0,86 a 3,0 (média 1,93) é depositado por via úmida. Se a soma é 100%, 61,07% é por via úmida e 38,92% por via seca.

¹¹¹ A hipótese de precipitação é uma aproximação conservativa de que todo poluente que chega na forma de aerossol sobre a cidade se precipite sobre ela.

Quadro 68: Concentração de nitrato depositada por via úmida (g/m³)

Cidades Sede	Após a chaminé		Taxa % molar por m	100% do NO resta vira NO ₂	NO ₂ chaminé + NO ₂ transform
	NO ₂ (g/m ³)	NO resta (g/m ³)			
Paulo Frontin	9,6809 x 10 ⁻⁸	1,19959 x 10 ⁻⁶	0,95057	105,2 m	1,93618 x 10 ⁻⁶
Mendes	6,64543 x 10 ⁻⁸	8,23455 x 10 ⁻⁷	0,970874	103 m	1,32909 x 10 ⁻⁶
Belford Roxo	1,05825 x 10 ⁻⁷	1,31131 x 10 ⁻⁶	1,295337	77,2 m	2,1165 x 10 ⁻⁶
Itaguaí	4,00995 x 10 ⁻⁷	4,96885 x 10 ⁻⁶	1,22549	81,6 m	8,0199 x 10 ⁻⁶
Japeri	3,94167 x 10 ⁻⁷	4,88424 x 10 ⁻⁶	0,95057	105,2 m	7,88333 x 10 ⁻⁶
Nilópolis	1,23313 x 10 ⁻⁷	1,52801 x 10 ⁻⁶	1,312336	76,2 m	2,46626 x 10 ⁻⁶
Nova Iguaçu	1,535 x 10 ⁻⁷	1,90206 x 10 ⁻⁶	1,295337	77,2 m	3,07 x 10 ⁻⁶
Paracambi	1,99477 x 10 ⁻⁷	2,47178 x 10 ⁻⁶	0,988142	101,2 m	3,98953 x 10 ⁻⁶
Queimados	2,51894 x 10 ⁻⁷	3,1213 x 10 ⁻⁶	1,278772	78,2 m	5,03788 x 10 ⁻⁶
S J de Meriti	8,49632 x 10 ⁻⁸	1,0528 x 10 ⁻⁶	1,302083	76,8 m	1,69926 x 10 ⁻⁶
Seropédica	2,0872 x 10 ⁻⁶	2,58631 x 10 ⁻⁵	1,154734	86,6 m	4,17439 x 10 ⁻⁵
C. Grande	1,36025 x 10 ⁻⁷	1,68552 x 10 ⁻⁶	1,182033	84,6 m	2,7205 x 10 ⁻⁶
Santa Cruz	3,11948 x 10 ⁻⁷	3,86544 x 10 ⁻⁶	1,160093	86,2 m	6,23895 x 10 ⁻⁶
Guaratiba	9,17374 x 10 ⁻⁸	1,13675 x 10 ⁻⁶	1,149425	87 m	1,83475 x 10 ⁻⁶
Distância a percorrer	Taxa % molar por m	% transformada na distância	HNO ₃ (g/m ³)	HNO ₃ (g/m ³) V. Úmida (60%)	Nitrato V Úmid. (NH ₄ NO ₃)
18394,8	0,000951	17,49	2,22174 x 10 ⁻⁷	1,33305 x 10 ⁻⁷	1,69276 x 10 ⁻⁷
18397	0,001025	18,85	1,64442 x 10 ⁻⁷	9,86653 x 10 ⁻⁸	1,25289 x 10 ⁻⁷
18422,8	0,001439	26,52	3,68284 x 10 ⁻⁷	2,2097 x 10 ⁻⁷	2,80597 x 10 ⁻⁷
18418,4	0,00143	26,33	1,38595 x 10 ⁻⁶	8,31569 x 10 ⁻⁷	1,05596 x 10 ⁻⁶
18394,8	0,001162	21,37	1,10563 x 10 ⁻⁶	6,63376 x 10 ⁻⁷	8,42383 x 10 ⁻⁷
18423,8	0,001677	30,89	5,00021 x 10 ⁻⁷	3,00013 x 10 ⁻⁷	3,80968 x 10 ⁻⁷
18422,8	0,001727	31,82	6,41039 x 10 ⁻⁷	3,84623 x 10 ⁻⁷	4,8841 x 10 ⁻⁷
18398,8	0,001372	25,25	6,61101 x 10 ⁻⁷	3,96661 x 10 ⁻⁷	5,03696 x 10 ⁻⁷
18421,8	0,001847	34,03	1,12498 x 10 ⁻⁶	6,74986 x 10 ⁻⁷	8,57125 x 10 ⁻⁷
18423,2	0,001953	35,98	4,01259 x 10 ⁻⁷	2,40756 x 10 ⁻⁷	3,05721 x 10 ⁻⁷
18413,4	0,001796	33,08	9,06075 x 10 ⁻⁶	5,43645 x 10 ⁻⁶	6,90343 x 10 ⁻⁶
18415,4	0,001904	35,07	6,26114 x 10 ⁻⁷	3,75669 x 10 ⁻⁷	4,77039 x 10 ⁻⁷
18413,8	0,001933	35,60	1,45769 x 10 ⁻⁶	8,74615 x 10 ⁻⁷	1,11062 x 10 ⁻⁶
18413	0,00198	36,45	4,38874 x 10 ⁻⁷	2,63325 x 10 ⁻⁷	3,3438 x 10 ⁻⁷

Fonte: Elaboração própria

Considerando os coeficientes dose-resposta baixos¹¹² do quadro 26 e as concentrações anuais de nitrato (NH₄NO₃) depositadas por via úmida, do quadro 68, tratadas como particulado secundário (PM₁₀), temos apresentados no quadro 69 os danos (riscos individuais) de saúde causados pela precipitação ácida, relativos a cada um dos municípios e regiões administrativas dentro da área de influência do complexo termelétrico RioGen / RioGen Merchant.

¹¹² Foram usados os coeficientes baixos de forma a contrabalançar as hipóteses adotadas, de que todo o vento do octante atuando na direção que mais contribui com poluentes para a cidade, e de que todo nitrato aerossol que chega ao nível do solo na cidade sede é precipitado.

Quadro 69 – Danos Individuais pelo nitrato depositado por via úmida

Concentração HNO ₃ (µg/m ³)	Coef. Dose Resposta	Dano	
		Descrição	Número
Engenheiro Paulo de Frontin			
0,169276	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	10
Mendes			
0,125289	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	8
Belford Roxo			
0,280597	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	17
Itaguaí			
1,05596	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	63
Japeri			
0,842383	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	51
Nilópolis			
0,380968	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	23
Nova Iguaçu			
0,48841	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	29
Paracambi			
0,503696	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	30
Queimados			
0,857125	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	51
São João de Meriti			
0,305721	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	18
Seropédica			
6,90343	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	414
XVIII RA – Campo Grande			
0,477039	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	29
XIX RA – Santa Cruz			
1,11062	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	67
XXVI RA – Guaratiba			
0,33438	60	Prevalência doença respir. crônica / 100.000 p.	20

Fonte: Elaboração própria.

Considerando as populações do quadro 62 e os casos de morte por caso de doenças do quadro 37, teríamos os danos coletivos apresentados no quadro 70.

Quadro 70 – Danos coletivos causados pelo nitrato depositado por via úmida

Dano	Casos/100.000	População	Casos	Morte/Caso	Mortes
Engenheiro Paulo de Frontin					
Doença Respir.	10	12.948	1	0,026441	0
Mendes					
Doença Respir.	8	17.747	1	0,026441	0
Belford Roxo					
Doença Respir.	17	433.348	73	0,026441	2
Itaguaí					
Doença Respir.	63	76.058	48	0,026441	1
Japeri					
Doença Respir.	51	83.371	42	0,026441	1
Nilópolis					
Doença Respir.	23	152.787	35	0,026441	1
Nova Iguaçu					
Doença Respir.	29	873.583	256	0,026441	7

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 70 – Danos coletivos causados pelo nitrato depositado por via úmida

Dano	Casos/100.000	População	Casos	Morte/Caso	Mortes
Paracambi					
Doença Respir.	30	41.869	13	0,026441	0
Queimados					
Doença Respir.	51	117.068	60	0,026441	2
São João de Meriti					
Doença Respir.	18	441.858	81	0,026441	2
Seropédica					
Doença Respir.	414	59.584	247	0,026441	7
XVIII RA – Campo Grande					
Doença Respir.	29	390.195	112	0,026441	3
XIX RA – Santa Cruz					
Doença Respir.	67	260.682	174	0,026441	5
XXVI RA – Guaratiba					
Doença Respir.	20	62.250	12	0,026441	0

Fonte: Elaboração própria.

Considerando o número total de casos de doença e morte do quadro 70, os custos de mortalidade do quadro 10 com $e = 0,54$ e o fator 2, e os custos de morbidade do quadro 29, o custo ambiental devido a deposição de nitratos por via úmida é apresentado pelo quadro 71.

Quadro 71 – Danos coletivos total causado pelo nitrato depositado por via úmida

Dano	Número de Casos	Custos por Caso	Custo Total Parcial
Doença Respiratória	1.155	9.902,69 (R\$ de 1996)	11.437.606,95 (R\$ de 1996)
Morte	31	929.743,75 (\$ de 1992)	28.822.056,25 (US \$ de 1992)
Considerando o IPC dos EUA em 1992 = 107,4 e em 07/2000 = 131,8; o dólar 07/2000 (paralelo) = 1,9295; e o IPC (FGV) do Brasil em 1996 = 148,145 e em 07/2000 = 188,608, temos:			
Custo Total em Reais (2000)			82.808.149,53 (R\$ de 2000)

Fonte: Elaboração própria.

Em valores presentes o dano dos nitratos depositados por via úmida originados do complexo RioGen – RioGen Merchant, para um horizonte de trabalho de 30 anos, considerando de modo conservativo que a população se estabilize nos níveis atuais é de: R\$ 2.484.244.485,90 (desconto 0%), R\$ 1.139.840.196,31 (desconto 6%), e R\$ 780.625.342,89 (desconto de 10%).

6. RESULTADOS, DISCUSSÃO, CONCLUSÕES, E RECOMENDAÇÕES:

6.1. Resultados e Discussão:

O quadro 72 apresenta um resumo dos resultados dos danos anuais de cada um dos estudos de caso realizado.

Quadro 72 – Resumos dos danos anuais de cada um dos estudos de caso realizados (em R\$ de 2000)

Usina Hidrelétrica de Simplício (100 MW x 365d x 24h / ano)	
Dano	Valor (R\$ de 2.000)
Impactos sobre agricultura, outras atividades do setor primário e florestas ¹¹³	76.595,37
Impactos pela sedimentação do reservatório sobre os múltiplos usos ¹¹⁴	63.380,82
Impactos sobre a navegação	Não relevante
Impactos sobre a saúde pela criação de condições propícias ao desenvolvimento de vetores de doenças de veiculação hídrica	Não valorado
Impactos sobre os recursos minerais	Não relevante
Impactos das emissões de gases de estufa	19.061,16
Impactos sobre a saúde ocupacional	704.141,07
Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa (735 MW x 365d x 24h / ano)	
Impactos sobre agricultura, outras atividades do setor primário e florestas ¹¹⁵	34.839.834,70
Impactos pela sedimentação do reservatório sobre os múltiplos usos	2.508,49
Impactos sobre a navegação	Não relevante
Impactos sobre a saúde pela criação de condições propícias ao desenvolvimento de vetores de doenças de veiculação hídrica	Não relevante
Impactos sobre os recursos minerais	Não valorado
Impactos das emissões de gases de estufa	5.000.351,17
Impactos sobre a saúde ocupacional	5.196.234,91
Complexo Termelétrico RioGen / RioGen Merchant (1.355 MW x 365d x 24h / ano)	
Impactos sobre a saúde ocupacional	9.678.130,96
Impactos das emissões de gases de estufa	57.998.882,28
Impactos das emissões atmosféricas sobre os homens (danos à saúde)	82.808.149,53

Fonte: Elaboração própria

As diferenças entre Serra da Mesa e Simplício nos valores dos impactos pela sedimentação e o assoreamento do reservatório sobre os múltiplos usos do recurso, é devida ao fato de Serra da Mesa armazenar muito mais água para gerar a mesma quantidade de energia, assim a perda de um m³ por sedimentação custa muito menos. Se observarmos a quantidade de sedimento retido verificaremos que em Serra da Mesa é muito maior, até porque está previsto em Simplício o uso de um limpador de fundo, mas enquanto Simplício funciona praticamente a fio d'água (renova o volume útil a cada três dias), armazenando 128 x 10⁶ m³ para gerar 100 MW/ano, Serra da Mesa armazena um

¹¹³ Média entre o valor máximo e o mínimo.

¹¹⁴ Como a sedimentação se acumula ao longo dos anos, adotou-se como dano anual a média dos 50 anos do horizonte de tempo.

¹¹⁵ Uma vez que as atividades de extração vegetal concentram-se nos primeiros anos (carvão) tomou-se como dano anual a média dos 50 anos.

grande volume de água $43,25 \times 10^9 \text{ m}^3$ para gerar 735 MW/ano. O volume de água de Serra da Mesa é o maior do Brasil ($54,4 \times 10^9 \text{ m}^3$, 1275 MW, $1784,5 \text{ Km}^2$), superando Itaipú ($29 \times 10^9 \text{ m}^3$, 12.600 MW, 1.400 Km^2) e Tucuruí ($48,2 \times 10^9 \text{ m}^3$, 4.200 MW, 2.430 Km^2)

Visando uma maior base de comparação estes impactos poderiam ser contabilizados em termos de reais (R\$/ano) por energia gerada (MWh/ano), considerando o fator de capacidade. Os resultados estão no quadro 73.

Quadro 73 – Resumos dos danos de cada um dos estudos de caso realizados (em R\$ de 2000 / MWh)

Usina Hidrelétrica de Simplício	
Dano	Valor (R\$ / MWh)
Impactos sobre a agricultura, outras atividades do setor primário e florestas	0,09
Impactos pela sedimentação do reservatório sobre os múltiplos usos	0,07
Impactos sobre a navegação	-
Impactos sobre a saúde pala criação de condições propícias ao desenvolvimento de vetores de doenças de veiculação hídrica	-
Impactos sobre os recursos minerais	-
Impactos das emissões de gases de estufa	0,02
Impactos sobre a saúde ocupacional	0,80
Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa	
Impactos sobre a agricultura, outras atividades do setor primário e florestas	5,41
Impactos pela sedimentação do reservatório sobre os múltiplos usos	0,00
Impactos sobre a navegação	-
Impactos sobre a saúde pala criação de condições propícias ao desenvolvimento de vetores de doenças de veiculação hídrica	-
Impactos sobre os recursos minerais	-
Impactos das emissões de gases de estufa	0,78
Impactos sobre a saúde ocupacional	0,81
Complexo Termelétrico RioGen / RioGen Merchant	
Impactos sobre a saúde ocupacional	0,82
Impactos das emissões de gases de estufa	4,89
Impactos das emissões atmosféricas sobre os homens (danos à saúde)	6,98

Fonte: Elaboração própria

Os impactos de Serra da mesa sobre o setor primário e as emissões de gases de estufa são muito maiores que os de Simplício pois a área alagada é proporcionalmente maior. A densidade de potência de Serra da Mesa é $1,3996 \text{ Km}^2/\text{MW}$, enquanto que a de Simplício é $0,03778 \text{ Km}^2/\text{MW}$. Além disto, no que diz respeito a atividades do setor primário a produtividade da região de Goiás (Serra da Mesa) é muito maior que a do Vale do Paraíba (Simplício). Já os impactos sobre a saúde ocupacional de Serra da Mesa são maiores pois o tempo de construção foi superior, 5 anos (considerado) para Simplício e 10 anos para Serra da Mesa.

No complexo termelétrico RioGen / RioGen Merchant, os impactos sobre a saúde ocupacional são maiores, apesar de um tempo de construção menor, pois são

contabilizadas as etapas de prospecção, mineração, extração, ... Já as emissões de gases de estufa, como se tratam de termelétricas, normalmente são maiores.

É importante ressaltar que a comparação deve ser relativizada, pois em alguns casos como na valoração dos impactos da sedimentação de Simplício alguns parâmetros foram fabricados visando a demonstração da aplicação do método, e em outros como na valoração dos danos à saúde pelas emissões do complexo termelétrico, as funções dose resposta adotadas são de bibliografia internacional, e nem sempre a extrapolação para outros países traz resultados precisos.

Além disto, no que diz respeito a hidrelétricas não foram valorados os importantes impactos sobre a biodiversidade (fauna, ictiofauna, flora, ecossistemas), sobre as atividades recreacionais, e sobre os recursos culturais e arqueológicos, pois estes demandam um longo trabalho de obtenção de dados através de entrevistas e de manipulação estatística destes, que consideramos além dos objetivos desta tese.

E ainda, não foram valorados vários outros danos do ciclo de geração de hidrelétricas e de termelétricas devido a menor magnitude destes. Porém para uma comparação efetiva todos os danos deveriam ser considerados.

Assim, os resultados devem ser tomados mais de modo qualitativo do que quantitativo, até porque o objetivo principal é a apresentação dos passos necessários para valoração dos principais impactos ambientais destas formas de geração de energia.

6.2. Conclusões e Recomendações:

A consideração dos custos sócio-ambientais relativos aos grandes projetos de investimento é um assunto recente que tem se tornado um desafio mundial. Conceitos e instrumentos que viabilizem a efetiva internalização destes custos têm sido objeto de investigação de universidades, centros de pesquisa e empresas de todo o mundo. Um vasto caminho ainda precisa ser percorrido para que a ciência econômica venha a dar conta da problemática ambiental.

O Setor Elétrico não foge a esta regra: enfrenta dificuldades na identificação e apropriação dos custos sócio-ambientais de seus empreendimentos e, conseqüentemente, na definição da competitividade econômico-energética de um projeto e na sua própria viabilidade de implementação. Sabe-se que os custos sócio-ambientais têm sido expressivos nos empreendimentos mais recentes, ultrapassando às

vezes o valor de algumas contas tradicionalmente consideradas de maior significado nos projetos setoriais. Verifica-se, ainda, uma significativa diferença entre os custos sócio-ambientais orçados e aqueles efetivamente realizados. Isto se deve, em parte, às dificuldades conceituais e operacionais relacionadas à identificação e à contabilização dos custos sócio-ambientais.

O setor elétrico tem desenvolvido algumas iniciativas no campo da valoração ambiental, tais como: a criação, em meados de 1991, do Grupo de Trabalho Custos Ambientais, pelo COMASE, a elaboração dos textos "Considerações para a Análise de Custos e Benefícios Sócio-Ambientais do Setor Elétrico" (dezembro de 1993), "Custos Sócio-Ambientais: Tipologia e Conceitos" (dezembro de 1993), "Referencial para Orçamento dos Programas Sócio-Ambientais" (outubro de 1994), e "Metodologia de Valoração das Externalidades Ambientais da Geração Hidrelétrica e Termelétrica com Vistas a Sua Incorporação no Planejamento de Longo Prazo do Setor Elétrico" (Outubro de 1999) [COMASE – 1994 e Tolmasquim – 1999].

A presente tese aborda muitos dos conceitos e metodologias abordadas por estes textos, complementa algumas das metodologias, acrescenta alguns novos conceitos, e exemplifica com a aplicação prática a valoração de alguns casos de alguns danos ambientais de usinas elétricas. Contudo, conforme foi falado nos objetivos desta tese, dado o atual ritmo de evolução das disciplinas sócio ambientais, esta tese não tem a pretensão de esgotar o assunto, mais sim de oferecer subsídios para maior ventilação do mesmo, e de subir mais um degrau na longa escada que nos leva a sustentabilidade.

A principal dificuldade encontrada na tese, que em alguns casos impediu a contabilização dos danos, se relaciona com a obtenção de bases de dados confiáveis para o estabelecimento de funções dose resposta, e outros parâmetros nacionais, aos impactos. Assim sugerimos que monitoramentos de fauna e flora, hidrosedimentológicos, de doenças, de acidentes do trabalho, etc ... sejam permanentemente realizados, e obrigatoriamente de acesso público, de forma que em futuros estudos estas bases de dados estejam disponíveis. Seria interessante que se implantassem instrumentos econômicos de modo a internalizar estes custos no valor dos produtos, e que a totalidade destes recursos fosse obrigatoriamente empregada em programas para melhorar as condições de meio ambiente (incluindo aí os monitoramentos) e pobreza.

Seria interessante a continuação do estudo de modo a valorar os impactos de hidrelétricas sobre as atividades recreacionais, recursos culturais e biodiversidade, aplicando os métodos de preços hedônicos, custo de viagem e valoração de contingente. Dado a estreita correlação entre estes danos de hidrelétricas e sua localização, estes estudos subseqüentes devem buscar a determinação de valores por bacia hidrográfica de modo a permitir a extrapolação em estudos futuros.

Deve ser buscado também a valoração dos danos menos expressivos de hidrelétricas e de termelétricas.

No caso de hidrelétricas, é importante o estabelecimento por bacias de funções dose-resposta relacionando o barramento com a taxa de sedimentação, com a variação no número de casos de doenças de veiculação hídrica, com a perda de nutrientes para os solos à jusante, ... E no caso de termelétricas correlacionando por bacias aéreas as emissões de poluentes com a variação do número de casos de doenças respiratórias.

O homem acha que com o dinheiro e a tecnologia resolverá tudo, mas quando os recursos naturais não poluídos se escassearem ele não poderá comer ou respirar dinheiro. Assim, é preciso atribuir as coisas o real valor do serviço que elas realizam de modo a preservar a base de recursos naturais e obter um elevado grau de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. R., **Planejamento Ambiental**: um caminho para participação popular e gestão ambiental para o nosso futuro comum, uma necessidade, um desafio, 2.ed., Rio de Janeiro, Thex Editora, 1999, 161p.

BANCO DO NORDESTE, **Manual de Impactos Ambientais**: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas, 1 ed., Fortaleza, Banco do Nordeste, 1999, 297 p.

BARBIER, E. B., ACREMAN, M., KNOWLER, D., **Valoración Económica de los Humedales**: Guía para decisores y planificadores, Oficina de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza), UICN Publicatons Services, 1997, 101 p.

BARCELLOS, P. P., **Impactos Ambientais da Indústria do Petróleo**: da produção ao consumo final. Orientador: Luiz Pinguelli Rosa. Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PEN, 1986. 151p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Nuclear e Planejamento Energético)

BRUNDTLAND, G.H. et al., **Nosso Futuro Comum**: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 2.ed., Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getulio Vargas, 1991, 429p.

CARVALHO, B. A., **Glossário de Saneamento e Ecologia**, ABES, 1.ed., Rio de Janeiro, 1981, 203p.

CHESF, **Gás Natural**, Volume I – Caracterização e Potencial, CHESF, 1.ed., 1987

_____, **Gás Natural**, Volume II – Tecnologias, CHESF, 1.ed., 1987

CLARKE, A. G., **Sources of Atmospheric Acidity**, Leeds, 1992, 34 p.

CLEMENTE, A., JUCHEM, P.A. Valoração Econômica do Meio Ambiente. In: MAIA, **Manual de Avaliações de Impactos Ambientais**, SEMA-PR / IAP / GTZ, 2.ed, Paraná, 1993, Cod. 4400, 25p.

DELGADO, M. A. P., **Determinação da redução das emissões de SO₂, SO₄, CO₂ e material particulado, bem como dos custos ambientais ocasionados pela substituição de óleo combustível por gás natural para a geração de energia térmica das empresas situadas na cidade de Juiz de Fora - MG**, In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia**, Rio de Janeiro, 1999, v.1, p. 279-292, 1609 p.

DIXON, J. A., et al, **Economic Analysis of Environmental Impacts**, 2. Ed., London, Earthscan Publications Ltd, 1994, 210 p.

DIXON, J. A., HUFSCHMIDT, M. M., **Economic Valuation Techniques for the Environment**, A Case Study Workbook, 1. Ed., Baltimore and London, The Johns Hopkins University Press, 1986, 203 p.

EC – EUROPEAN COMMISSION, **ExternE, Externalities of Energy**, Vol. 2 – Methodology, 1 Ed., Bruxelas e Luxemburgo, Publications of the European Commission, 1995, 571 p.

_____ **ExternE, Externalities of Energy**, Vol. 4 – Oil & Gas, 1 Ed., Bruxelas e Luxemburgo, Publications of the European Commission, 1995, 426 p.

_____ **ExternE, Externalities of Energy**, Vol. 6 – Wind and Hydro, 1 Ed., Bruxelas e Luxemburgo, Publications of the European Commission, 1995, 249 p.

ELETRORÁS, **Plano de Expansão do Setor Elétrico 1999-2008**, MME/Eletrorás/GCPS, Rio de Janeiro, 1999, 308 p.

_____, **Referencial para Orçamentação dos Programas Sócio Ambientais**, MME/Eletróbrás/COMASE, Rio de Janeiro, V.I – Usinas Hidrelétricas, V.II – Usinas Termelétricas, V.III – Linhas de Transmissão, 1994, V.I 145 p., V.II 22 p., V.III 84 p.

_____, **Estatísticas de Acidente de Trabalho no Setor Elétrico**, MME/Eletróbrás/GRIDIS – Grupo de Difusão de Informações sobre Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho, Rio de Janeiro, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990.

FARAH, P. C. M., **Instrumentos Metodológicos para Avaliação do Impacto Ambiental de Empreendimentos de Geração Hidrelétrica**. Orientador: Emílio Lebre La Rovere. Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PPE, 1993. 256p. Dissertação. (Mestrado em Planejamento Energético)

FISHER, B. E. A., **The Long Range Transport of Atmospheric Acidity**, London, 1992, 27 p.

FURNAS, **Relatório de Impacto Ambiental da UHE de Simplício**, Rio de Janeiro, Engevix Engenharia AS, 1990, 103 p.

_____, **Plano Básico Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico de Serra da Mesa**, implantação dos programas ambientais, Rio de Janeiro, 1996, 159p.

_____, **Aproveitamento Hidrelétrico de São Félix, Usina de Serra da Mesa, Estudos de Meio Ambiente, Relatório Base para os Programas Ambientais**, IESA Engenharia, Rio de Janeiro, 1990, Vols. I, II, III, IV, V, VI.

_____, **Relatório do Meio Ambiente Físico, Biológico, e Sócio Econômico Cultural AHE Serra da Mesa**, IESA Engenharia, Rio de Janeiro, 1986.

GALVÃO, L. C. R., et al, **Análise Comparativa da Geração Hídrica VS. Gás Natural**, In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia**, Rio de Janeiro, 1999, v.2, p. 734-742, 1609 p.

GALVÃO FILHO, J. B., **Poluição do Ar**. In: **Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos**, 1.ed., Brasília, IPEA / PNUD, 1990, p. 35-55, 246p.

GOLDEMBERG, J. Políticas para Enfrentar o Aquecimento Global. In: LEGGET, J. **Aquecimento Global: O Relatório do Greenpeace**, 1.ed., Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getulio Vargas, 1992, p. 152-167, 516p.

GOUVÊA, M. T., **O Gerenciamento dos Impactos Ambientais na Produção Offshore: o caso da bacia de campos**. Orientador: Maurício Cardoso Arouca. Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PPE, 1993. 133p. Dissertação. (Mestrado em Planejamento Energético)

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **CENSO e PNAD**, diversos 1996, 1997.

IPPC, **Revised IPCC 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Horegton et al., IPCC / OCDE / IEA, UK Meteorological Office, Bracknell, V.1, V.2, V.3, CD-ROM, 1996

KRUPNICK, A. J., BURTRAW, D., **The Social Costs of Electricity: Do the Numbers Add Up?**, Discussion Paper 96-30, Resources for the Future, Washington, 1996, 54 p.

_____, **Measuring The Value of Health Improvements from Great Lakes Cleanup**, Discussion Paper 99-34, Resources for the Future, Washington, 1999, 22 p.

KRUTILLA, J. V., FISHER, A. C., **The Economics of Natural Environment: Studies in The Valuation of Commodity and Amenity Resources, Resources for The Future**, 3 ed., Washington, 1985, 300 p.

LA ROVERE, E. L., **Política Ambiental e Planejamento Energético**, 2 ed., Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PPE, 1999, 87p.

LA ROVERE, E. L., MENDES, F. E., **Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil)**, Rio de Janeiro, CMB, Comissão Mundial de Barragens, LIMA / COPPE / UFRJ, 2000, 201 p.

LEMOS, H.M. **A Questão Ambiental – Evolução Histórica**, notas de aula do curso de Gestão Ambiental, Rio de Janeiro, 2000, 12p.

LOPES, I.V. et al. **Gestão Ambiental no Brasil: experiência e sucesso**, 2.ed., Rio de Janeiro, Editora da Fundação Getulio Vargas, 1998, 408p.

MAIA, **Manual de Avaliações de Impactos Ambientais**, SEMA-PR / IAP / GTZ, 2.ed, Paraná, 1993, Cod. 0001-9400.

MAGRINI, A. A Avaliação de Impactos Ambientais. In: MARGULIS, S. **Meio Ambiente: aspectos técnicos e econômicos**, 1.ed., Rio de Janeiro, IPEA / PNUD, 1990, p. 85-108, 246p.

MARGULIS, S. **Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos**, 1.ed., Brasília, IPEA / PNUD, 1990, 246p.

_____ **The experience of Brazil, México, Chile and Argentina in the use of Economics Instruments in Environmental Policy**, 1.ed., Brasília, IPEA, 1990.

_____ **Estimativas dos Custos Ambientais no México**. In: **Valorando a Natureza**, 1 ed., Rio de Janeiro, Editora Campus, 1994, p. 61-92 , 194 p.

MAY, P.H., **Economia Ecológica**, Aplicações no Brasil, 1.ed., Rio de Janeiro, Editora Campus, 1995, 179p.

MAY, P.H., VEIGA NETO, F.C., POZO, O.V.C., **Valoração Econômica da Biodiversidade no Brasil: Revisão da Literatura**. In: **III Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, Recife, 1999, CD ROM, 18 p.

MÉSZÁROS, E., **Occurence of Atmospheric Acidity**, Budapest, 1992, 37 p.

MME, Ministério de Minas e Energia, **Balanco Energético Nacional**, Brasília, 1998, 1999.

MÜLLER, A.C. **Hidrelétricas Meio Ambiente e Desenvolvimento**, 1.ed., Curitiba, Makron Books, 1996, 412p.

NEGRI, J. C., VIEIRA, S., **As emissões de Poluentes nas Usinas Termoelétricas à Gás Natural: um estudo de caso**. In: XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, 1999, CD-ROM, GIA/09, 5 p.

OCDE, **Evaluating Economic Instruments for Environmental Policy**, 1.ed., Paris, Head of Publications Service OECD, 1997, 141p.

_____, **Greenhouse Gas Emissions**, The energy dimensions, 1.ed., Paris, Head of Publications Service OECD/IEA, 1991, p.

ODUM, E.P. **Ecologia**, 1.ed., Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, 1988, 434p.

PEARCE, D., TURNER, R.K. **Economics of Natural Resources and the Environment**, 1.ed., Londres, Harvester Wheatsheaf, 1990, 378p.

PINDYCK, R.S., RUBINFELD, D.L. **Microeconomia**, 2.ed., São Paulo, Makron Books, 1994, 949p.

PINGUELLI ROSA, L., SCHECHTMAN, R. Avaliação de Custos Ambientais da Geração Termelétrica: inserção de variáveis ambientais no planejamento da expansão do setor elétrico. **Caderno de Energia**, Rio de Janeiro, mar. 1996, n. 9, p. 159-256

PINGUELLI ROSA, L., SANTOS, M.A., SHERRILL, E.I. Estudos dos Custos Ambientais do Impacto de Usinas Hidrelétricas na Biodiversidade da Região Amazônica. **Caderno de Energia**, Rio de Janeiro, mar. 1996, n. 9, p. 1-108

PINGUELLI ROSA, L., SCHAEFFER, R., SANTOS, M.A. Emissões de Metano e Dióxido de Carbono de Hidrelétricas Comparadas às de Termelétricas Equivalentes. **Caderno de Energia**, Rio de Janeiro, mar. 1996, n. 9, p. 109-158

PINGUELLI ROSA, L. P., et al., **Estado, Energia Elétrica e Meio Ambiente: O Caso das Grandes Barragens**, 1 ed., Rio de Janeiro, UFRJ / COPPE, 1995, 184p.

PINGUELLI ROSA, L. P., RIBEIRO, S. K., **The Present, Past and Future Contributions to Global Warming**. A Key for International Negotiation, COPPE, Rio de Janeiro, 1999, 21 p.

RADOJEVIC, M., **SO₂ and NO_x Oxidation Mechanisms in the Atmosphere**, Leeds, 1992, 65 p.

REBELLO, R.B. **Metodologia para Valoração de Custos Associados a Problemas de Saúde Humana Decorrentes de Emissões Aéreas em Empreendimentos Termelétricos**: Estudo de Caso Usina Termelétrica de Santa Cruz. Orientador: Rafael Schechtman. Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PPE, 1999. 151p. Dissertação. (Mestrado em Planejamento Energético)

SALA, J. F., **Valoração dos Custos Ambientais Relacionados à Saúde**. Estudo de Caso: Setor de Transportes da Cidade de São Paulo, Orientador: Maurício Tiomno

Tolmasquim. Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PPE, 1999. 132 p. Dissertação. (Mestrado em Planejamento Energético)

SANTOS, M. A., **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas de Hidrelétricas**. Orientador: Luiz Pinguelli Rosa. Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PPE, 2000. 159 p. Dissertação. (Doutorado em Planejamento Energético)

SANTOS, R. M. G., **Análise da Dispersão Atmosférica e Impacto das Emissões de Usinas Termelétricas a Carvão**. Orientador: Juan Bautista Soto Hesles, Rio de Janeiro: UFRJ / COPPE / PEN, 1985. 106 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Nuclear)

SEDJO, R. A., **Potntial for Carbon Forest Plantations in Marginal Timber Forests: The Case of Patagonia, Argentina**, 1 ed., Discussion Paper 99-27, Resources for the future, Whashington, 1999, 20 p.

SERÔA DA MOTTA, R. **Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais**, 1.ed, Brasília, MMA, 1998, 216 p.

_____ **Contabilidade Ambiental: Teoria, Metodologia e Estudos de Casos no Brasil**, 1.ed., Rio de Janeiro, IPEA, 1995, 126p.

_____ **Mecanismos de Mercado na Política Ambiental Brasileira. Perspectivas da Economia Brasileira**, 1.ed., Rio de Janeiro, IPEA, 1991.

SERÔA DA MOTA, R., ORTIZ, R.A., FERREIRA, S.F., **Avaliação Econômica dos Impactos Causados pela Poluição Atmosférica na Saúde Humana: um estudo de caso para São Paulo**, 1998. In: **III Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, Recife, 1999, CD ROM, 19 p.

SCHAEFFER, R., SZKLO, A. S., MARQUES, J. C. S., **Cenários de Expansão da Oferta de Energia Elétrica e Emissões de CO₂ no Brasil de 1995 à 2015**, In: **VIII Congresso Brasileiro de Energia**, Rio de Janeiro, 1999, v.1, p. 238-252, 1609 p.

SCHMIDT, A. B., MENEZES C. F. S., e COIMBRA, N. C. **Legislação Ambiental de Interesse do Setor Elétrico**, CD ROM, versão 1.0, Brasília, ANEEL / COMASE / ELETROBRÁS, 1999.

SZKLO, A. S., **Incertezas na Avaliação dos Custos Ambientais da Poluição Atmosférica na Geração Termelétrica**, Rio de Janeiro, Mimeo, 1997.

TERMORIO, Usina Elétrica a Gás Natural Campos Elíseos, **Estudo de Impacto Ambiental**, NATRONTEC, Duque de Caxias, Rio de Janeiro, 2000, 3 vol.

TOLMASQUIM, M.T., et al. **Metodologia de Valoração das Externalidades Ambientais da Geração Hidrelétrica e Termelétrica com Vistas à sua Incorporação no Planejamento de Longo Prazo do Setor Elétrico**, UFRJ / COPPE / PPE, 1999, 181p.

TOLMASQUIM, M.T., Economia do Meio Ambiente: forças e fraquezas. In Cavalcanti, C. **Desenvolvimento e Natureza**: estudos para uma sociedade sustentável, 1.ed., Rio de Janeiro, Editora Cortez / Fundação Joaquim Nabuco, 1998, p. 323-341, 429p.

TURNER, R. K., **Sustainable Environmental Economics and Management: Principles and Practice**, 1 ed., London, Belhaven Press, 1993, 389 p.

UTE NORTE FLUMINENSE, **Estudo de Impacto Ambiental**, BVI / Technoplan / Tetraplan / Ecologus, Macaé, Rio de Janeiro, 2000, 1 vol.

UTE RIOGEN, **Estudo de Impacto Ambiental**, Mineral / Agrar, Seropédica, Rio de Janeiro, 2000, 1 vol.

UTE RIOGEN MERCHANT, **Estudo de Impacto Ambiental**, Mineral / Agrar, Seropédica, Rio de Janeiro, 2000, 2 vol.

www.datasus.gov.br

www.ipea.gov.br

www.ibge.gov.br

www.mme.gov.br

www.mma.gov.br

www.mct.gov.br

www.mpas.gov.br

www.aneel.gov.br

www.cprm.gov.br

www.anp.gov.br

www.eletronbras.gov.br

www.petrobras.com.br

www.fao.org

ANEXOS

Anexo 1 – Legislação brasileira relativa a impactos ambientais de interesse do setor elétrico:

Os principais instrumentos legais relativos a impacto ambiental, de interesse do setor elétrico são (SCHMIDT et al, 1999):

- Lei 6.938/81. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (alterada pelas Leis 7.804/89 e 8.028/90; regulamentada pelos Decretos 89.336/84, 97.632/89 e 99.274/90; vide Lei 9.605/98). Estabelece como instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente a avaliação de impactos ambientais e o cadastro técnico federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras dos recursos ambientais (art. 9º, incisos III e XII); o prévio licenciamento de atividades poluidoras ou capazes de causar degradação ambiental (art. 10); como competência do IBAMA o licenciamento de atividades e obras com significativo Impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional (art. 10, § 4º).

- Resolução CONAMA 001/86. Define impacto ambiental e estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para o relatório de impacto ambiental (alterada pelas Resoluções CONAMA 011/86 e 237/97, vide Resolução CONAMA 005/87). Estabelece que o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental (art. 2º), que deverão desenvolver: diagnóstico ambiental da área de influência do projeto; análise dos impactos ambientais; definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos; e elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos (art. 6º e incisos).

- Resolução CONAMA 005/87. Institui o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico. Estabelece que seja incluída na Resolução CONAMA 001/86 a obrigatoriedade de estudo de impacto ambiental nos caso de empreendimentos potencialmente lesivos ao patrimônio espeleológico nacional (art. 3º).

- Resolução CONAMA 006/87. Estabelece regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente de geração de energia elétrica. Estabelece que o estudo de impacto ambiental deverá ser elaborado de forma que a concessionária tenha condições de apresentar ao órgão ambiental competente um relatório sobre o planejamento dos estudos a serem executados (art. 8º).

- Resolução CONAMA 009/87. Regulamenta as audiências públicas. Estabelece que a audiência pública referida na Resolução CONAMA 001/86 tem por finalidade expor aos interessados o conteúdo do produto em análise e do seu referido RIMA, dirimindo dúvidas e recolhendo dos presentes as críticas e sugestões a respeito (art. 1º). Poderá ser promovida pelo órgão ambiental ou quando solicitada por entidade civil, pelo Ministério Público, ou por 50 ou mais cidadãos (art. 2º), cuja ata e seus anexos servirão de base, juntamente com o RIMA, para a análise e parecer final do órgão licenciador quanto à aprovação ou não do projeto (art. 5º).

- Constituição da República/88:

- ◆ art. 24 - determina a competência legislativa concorrente da União, dos Estados e do Distrito Federal sobre: florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição (inciso VI); proteção ao patrimônio histórico, cultural, artístico, turístico e paisagístico (inciso VII); responsabilidade por dano ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (inciso VIII), cabendo à União a edição de normas gerais e aos Estados e Distrito Federal as normas específicas (§ 1º);

- ◆ art. 30 - estabelece a competência legislativa dos municípios para legislar sobre assuntos de interesse local (inciso I) e suplementar a legislação federal e estadual no que couber (inciso II);

- ◆ art. 225 - determina que incumbe ao Poder Público exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade (§ 1º, inciso IV).

- Lei 7.661/88. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. Estabelece que as atividades potencialmente causadoras de impactos ambientais na zona costeira deverão elaborar estudos de impacto ambiental e apresentação do relatório de impacto ambiental para fins de licenciamento (art. 6º, § 2º).

- Resolução CONAMA 001/88. Regulamenta o cadastro técnico federal de atividades e instrumentos de defesa ambiental. Este cadastro, previsto na Lei 6938/81, objetiva proceder o registro obrigatório de pessoas físicas ou jurídicas que se dediquem à prestação de serviços e consultoria sobre problemas ecológicos e ambientais, bem

como à elaboração do projeto, fabricação, comercialização, instalação ou manutenção de equipamentos, aparelhos e instrumentos destinados ao controle de atividades poluidoras (art. 1º).

- Resolução CONAMA 005/88. Regulamenta o licenciamento de obras de saneamento básico. Estabelece que ficam sujeitas ao licenciamento as obras onde sejam possível identificar modificações ambientais significativas, como sistemas de abastecimento de água, de esgotos sanitários, de drenagem e de limpeza urbana (art. 1º e 3º).

- Decreto 97.632/89. Dispõe sobre a regulamentação do art. 2º, inciso VIII da Lei 6.938/81. Estabelece a obrigatoriedade das atividades de exploração de recursos minerais que apresentarem, junto ao EIA/RIMA, o plano de recuperação de área degradada.

- Decreto 99.274/90. Regulamenta a Lei 6.902/81 e a Lei 6.938/81, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional de Meio Ambiente (alterado pelos Decretos 122/91 e 2.120/97; revoga o Decreto 88.351/83 e outros). Estabelece que será exigido estudos de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental para fins de licenciamento das atividades capazes de causar degradação ambiental (art. 17 e § 1º).

- Resolução CONAMA 013/90. Regulamenta o licenciamento de atividades em áreas circundantes às unidades de conservação. Estabelece que serão definidas as atividades que possam afetar a biota de unidade de conservação e o licenciamento das atividades em áreas circundantes às unidades de conservação num raio de 10 km (art. 1º e 2º).

- Lei 8.171/91. Dispõe sobre a política agrícola (alterada pela Lei 9.272/96; vide Decreto 1.922/96). Estabelece que as empresas que exploram economicamente águas represadas e as concessionárias de energia elétrica serão responsáveis pelas alterações ambientais por elas provocadas e obrigadas à recuperação do meio ambiente, na área de abrangência de suas respectivas bacias hidrográficas (art. 23).

- Resolução CONAMA 002/96. Dispõe sobre a implantação de uma unidade de conservação vinculada ao licenciamento de atividades de relevante impacto ambiental (revoga a Resolução CONAMA 010/87). Determina como requisito do licenciamento a

implantação de unidade de conservação ou outras alternativas, a fim de reparar os danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas (art. 1º e § 1º).

- Resolução CONAMA 237/97. Dispõe sobre o licenciamento ambiental (altera a Resolução CONAMA 001/86). Estabelece: definições de estudos ambientais e de impacto ambiental regional (art. 1º, incisos III e IV); que o licenciamento dependerá de EIA/RIMA, para os empreendimentos capazes de causar degradação ambiental, e estudos ambientais pertinentes, para os não potencialmente causadores de degradação (art. 3º e parágrafo único); e a realização de audiências públicas para avaliação dos estudos ambientais, quando couber e de acordo com a regulamentação (art. 3º).

- Portaria Normativa IBAMA 113/97. Dispõe sobre a obrigatoriedade do registro no cadastro técnico federal de pessoas físicas ou jurídicas que desempenhem atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais. Estabelece como passível deste cadastro as atividades de extração, comercialização, transporte e produção de produtos potencialmente perigosos ao meio ambiente, assim como os minerais e os produtos e sub-produtos da fauna, flora e pesca.

- Lei 9.605/98. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (altera a Lei 9.099/95; alterada pela Medida Provisória 1.710/98 e reedições; vide Lei 6.453/77). Estabelece as condutas consideradas crimes: contra a fauna (art. 29 a 37 e 54); contra a flora (art. 38 a 53 e 54); de poluição e outros crimes ambientais (art. 54 a 61); contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural (art. 62 a 65); e contra a administração ambiental (ar 66 a 69).

- Resolução ANEEL 393/98. Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas. Estabelece que os titulares de registro de estudos de inventário deverão formalizar consulta aos órgãos ambientais para definição dos estudos relativos aos aspectos ambientais e aos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, nos níveis estadual e federal (art. 13).

- Resolução ANEEL 395/98. Estabelece os procedimentos gerais para registro e aprovação de estudos de viabilidade e projeto básico de empreendimentos de geração hidrelétrica; assim como dá autorização para exploração de centrais hidrelétricas até 30 MW. Estabelece que estes estudos e projetos serão avaliados segundo: o desenvolvimento adequado à etapa e ao porte do empreendimento; ao atendimento da boa técnica em nível de projetos e soluções para o empreendimento; à articulação com

os órgãos ambientais e de gestão de recursos hídricos, nos níveis federal e estadual, bem como junto a outras instituições envolvidas; e à obtenção do licenciamento ambiental pertinente (art. 12 e incisos).

Anexo 2 – Dados do DATASUS e IBGE para o Cálculo do Custo de Morbidade por Doenças Hídricas:

Quadro 1 – Dados do Sistema Único de Saúde –1996

Doença	Mês	Nº Internações		Média Perman (dias)	Valor Médio (R\$ 1996)	Nº Mortes
		Até 14	> 14 anos			
Esquistossomose	Janeiro	31	117	10,2	209,47	4
	Fevereiro	28	113	10,3	188,61	4
	Março	34	133	10,7	243,02	5
	Abril	33	123	10,4	238,82	1
	Maiο	24	113	11,8	187,33	2
	Junho	22	116	10,8	208,48	4
	Julho	27	88	11,5	316,50	4
	Agosto	23	108	9,3	178,60	8
	Setembro	21	104	10,6	190,18	6
	Outubro	17	111	9,6	236,07	3
	Novembro	24	112	13,3	219,90	4
	Dezembro	22	112	9,1	177,05	5
	Média	25,50	112,50	10,63	216,17	4,17
Leptospirose	Janeiro	25	250	7,2	185,01	27
	Fevereiro	43	318	8,5	265,16	30
	Março	51	408	8,0	235,20	42
	Abril	42	410	8,3	256,07	41
	Maiο	41	486	8,1	244,09	52
	Junho	18	282	8,4	233,13	22
	Julho	22	266	8,9	239,98	33
	Agosto	33	243	9,1	247,66	29
	Setembro	20	165	8,7	219,88	17
	Outubro	14	179	8,9	214,56	24
	Novembro	19	162	8,7	264,79	18
	Dezembro	20	175	8,3	220,91	13
	Média	29,00	278,67	8,43	235,54	29,00
Febre Amarela	Janeiro	0	4	4,0	72,53	0
	Fevereiro	2	5	5,7	93,81	1
	Março	2	3	2,8	98,09	2
	Abril	1	4	3,8	85,30	1
	Maiο	2	1	3,3	85,30	1
	Junho	1	5	4,3	89,71	1
	Julho	3	2	2,8	85,30	1
	Agosto	1	4	6,8	96,01	0
	Setembro	2	4	8,2	141,78	0
	Outubro	0	2	3,0	85,30	0
	Novembro	0	3	14,7	236,06	0
	Dezembro	0	4	13,5	194,01	0
	Média	1,17	3,42	6,08	113,60	0,58

Fonte: Elaboração própria baseado no DATASUS.

Quadro 1 – Dados do Sistema Único de Saúde –1996

Doença	Mês	Nº Internações		Média Perman (dias)	Valor Médio (R\$ 1996)	Nº Mortes
		Até 14	> 14 anos			
Malária	Janeiro	904	2205	4,2	82,01	19
	Fevereiro	795	1939	4,5	83,54	14
	Março	782	1827	4,4	82,72	12
	Abril	696	1676	4,4	83,01	12
	Maiο	744	1590	4,4	84,66	3
	Junho	770	1805	4,3	81,83	6
	Julho	697	1628	4,2	82,59	3
	Agosto	749	1682	4,3	81,69	9
	Setembro	721	1758	4,2	82,60	10
	Outubro	723	1618	4,3	83,10	10
	Novembro	606	1368	4,2	82,98	12
	Dezembro	534	1374	4,0	80,86	6
	Média	726,75	1705,83	4,28	82,63	9,67
Leshimani ose	Janeiro	212	166	15,4	211,74	19
	Fevereiro	240	141	15,4	229,94	11
	Março	235	150	14,8	210,55	11
	Abril	229	150	15,7	216,59	13
	Maiο	190	143	15,3	216,54	4
	Junho	195	123	16,2	236,90	7
	Julho	162	137	15,7	225,01	7
	Agosto	173	120	16,4	223,66	12
	Setembro	217	124	14,7	230,82	14
	Outubro	182	140	15,1	225,03	14
	Novembro	194	122	14,2	215,38	12
	Dezembro	168	150	14,4	214,39	13
	Média	199,75	138,83	15,28	221,38	11,42
Dengue	Janeiro	1	13	2,7	58,68	0
	Fevereiro	2	4	3,3	193,91	1
	Março	2	13	2,8	85,92	0
	Abril	5	29	3,4	82,82	0
	Maiο	1	19	5,2	62,05	0
	Junho	4	29	3,0	62,92	0
	Julho	4	56	4,0	68,96	0
	Agosto	4	65	3,1	72,13	1
	Setembro	0	24	3,9	72,05	0
	Outubro	2	36	2,9	65,84	0
	Novembro	3	57	3,4	86,84	0
	Dezembro	10	133	3,7	89,94	0
	Média	3,17	39,83	3,45	83,51	0,17

Fonte: Elaboração própria baseado no DATASUS.

Quadro 1 – Dados do Sistema Único de Saúde –1996

Doença	Mês	Nº Internações		Média Perman (dias)	Valor Médio (R\$ 1996)	Nº Mortes
		Até 14	> 14 anos			
Cólera	Janeiro	12	45	4,6	264,25	4
	Fevereiro	20	102	6,1	153,31	4
	Março	21	73	4,0	237,69	1
	Abril	24	83	9,5	203,15	2
	Maiο	28	83	8,8	224,01	2
	Junho	21	73	7,7	172,00	3
	Julho	6	34	10,4	323,12	1
	Agosto	7	17	8,2	170,22	0
	Setembro	5	22	6,1	124,75	0
	Outubro	4	14	5,6	153,55	1
	Novembro	8	28	4,8	137,97	0
	Dezembro	22	90	3,6	96,24	0
	Média	14,83	55,33	6,62	188,36	1,50
Tifo	Janeiro	103	472	5,7	109,35	9
	Fevereiro	76	462	5,8	104,02	9
	Março	83	409	5,7	104,95	7
	Abril	84	395	5,2	99,49	5
	Maiο	63	328	5,6	104,10	6
	Junho	50	337	5,0	98,74	5
	Julho	79	299	5,4	98,45	0
	Agosto	58	350	5,2	110,73	3
	Setembro	59	297	5,4	101,34	3
	Outubro	61	269	5,4	117,40	2
	Novembro	91	275	5,3	112,96	2
	Dezembro	76	415	5,2	104,80	3
	Média	73,58	359,00	5,41	105,53	4,50
Amebíase E Doenças Devido a Outros Microorg. Específicos	Janeiro	1539	137	4,7	115,41	7
	Fevereiro	1693	154	4,9	122,16	13
	Março	1713	126	4,4	117,92	11
	Abril	1621	150	5,1	125,12	11
	Maiο	1315	167	4,8	116,72	12
	Junho	1206	124	4,9	120,79	5
	Julho	1211	91	4,2	115,22	12
	Agosto	1154	125	3,8	113,38	3
	Setembro	928	193	4,5	111,51	7
	Outubro	1145	107	4,0	137,58	3
	Novembro	1179	152	4,1	121,27	10
	Dezembro	1271	169	4,3	123,82	7
	Média	1331,25	141,25	4,48	120,08	8,42

Fonte: Elaboração própria baseado no DATASUS.

Quadro 2 - PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS - 1996 - BRASIL - 4. Trabalho

4.30 - EMPREGADOS DE 10 ANOS OU MAIS DE IDADE NO TRABALHO PRINCIPAL DA SEMANA DE REFERÊNCIA E VALOR DO RENDIMENTO MÉDIO MENSAL DO TRABALHO PRINCIPAL DA SEMANA DE REFERÊNCIA DOS EMPREGADOS DE 10 ANOS OU MAIS DE IDADE, POR SEXO, SEGUNDO A CATEGORIA DO EMPREGO E AS CLASSES DE RENDIMENTO MENSAL DO TRABALHO PRINCIPAL						
Classes de Rendimento Médio Mensal do Trabalho Principal	Empregados					
	Número			Valor do Rendimento Médio Mensal (R\$)		
	Total	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres
Total	36 076 039	24 077 066	11 998 973	454	477	409
Até ½ Salário Mínimo	1 090 319	650 681	439 638	38	38	39
Mais de ½ a 1 Salário Mínimo	5 458 688	3 562 351	1 896 337	100	99	102
Mais de 1 a 2 Salários Mínimos	8 733 528	5 675 194	3 058 334	173	173	173
Mais de 2 a 3 Salários Mínimos	6 358 235	4 101 582	2 256 653	279	280	277
Mais de 3 a 5 Salários Mínimos	6 498 083	4 489 483	2 008 600	431	433	427
Mais de 5 a 10 Salários Mínimos	4 860 220	3 378 862	1 481 358	775	775	775
Mais de 10 a 20 Salários Mínimos	1 928 960	1 371 449	557 511	1 547	1 548	1 544
Mais de 20 Salários Mínimos	783 357	606 734	176 623	3 608	3 636	3 511
Sem Rendimento	33 817	28 119	5 698	-	-	-
Sem Declaração	330 832	212 611	118 221	-	-	-

Fonte: IBGE – PNAD 1996

Quadro 3 – PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS - 1996 - Brasil - 4. Trabalho

4.33 - PESSOAS DE 10 ANOS OU MAIS DE IDADE, POR CONDIÇÃO DE ATIVIDADE NO PERÍODO DE REFERÊNCIA DE 365 DIAS E SEXO.										
Situação do Domicílio				Condição de Atividade no Período de Referência de 365 Dias						
Grupos de Idade	Total	Homens	Mulheres	Economicamente Ativos			Não Economicamente Ativos			Sem Declaração
				Total	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres	
Total	123 623 557	59 865 212	63 758 345	78 277 040	45 704 797	32 572 243	45 292 671	14 137 923	31 154 748	53 846
10 a 14 anos	17 436 999	8 776 371	8 660 628	3 314 705	2 159 688	1 155 017	14 086 984	6 601 623	7 485 361	35 310
15 a 19 anos	16 525 168	8 398 940	8 126 228	9 909 178	5 874 527	4 034 651	6 606 961	2 519 983	4 086 978	9 029
15 e 17 anos	10 335 995	5 290 678	5 045 317	5 434 906	3 294 371	2 140 535	4 892 781	1 992 088	2 900 693	8 308
18 e 19 anos	6 189 173	3 108 262	3 080 911	4 474 272	2 580 156	1 894 116	1 714 180	527 895	1 186 285	721
20 a 24 anos	13 345 010	6 628 359	6 716 651	10 737 895	6 151 150	4 586 745	2 604 910	475 956	2 128 954	2 205
25 a 29 anos	11 862 433	5 716 377	6 146 056	9 762 376	5 519 389	4 242 987	2 099 426	196 778	1 902 648	631
30 a 39 anos	22 883 018	10 887 674	11 995 344	18 955 595	10 603 700	8 351 895	3 924 320	283 402	3 640 918	3 103
40 a 49 anos	17 247 737	8 286 828	8 960 909	13 768 637	7 934 005	5 834 632	3 478 193	352 278	3 125 915	907
50 a 59 anos	11 039 068	5 245 998	5 793 070	7 330 499	4 473 539	2 856 960	3 708 010	772 459	2 935 551	559
60 anos ou +	13 267 022	5 917 666	7 349 356	4 487 829	2 983 487	1 504 342	8 777 091	2 933 757	5 843 334	2 102
Idade Ignor.	17 102	6 999	10 103	10 326	5 312	5 014	6 776	1 687	5 089	-

Fonte: IBGE – PNAD 1996.

Quadro 4 - Morbidade Hospitalar do SUS - Período 1996

Mês Competência	Óbitos
TOTAL	305.560
Janeiro	26.473
Fevereiro	23.334
Março	24.657
Abril	24.946
Mai	25.736
Junho	26.563
Julho	29.279
Agosto	28.816
Setembro	25.084
Outubro	25.499
Novembro	23.258
Dezembro	21.915

Fonte: Sistema de Informações Hospitalares (SIH/SUS)

Quadro 5 – Taxas de Mortalidade (por 1.000 habitantes) no Sistema de Informações Hospitalares (SIH/SUS) e no Sistema de Informações de Mortalidade (SIM) –1996

Sistema	Taxa de Mortalidade
SIM	6,72
SIH/SUS	$305.560 \div 157.070.163 \times 1.000 = 1,95$
Relação SIM ÷ SIH/SUS	$6,72 \div 1,95 = 3,46$

Fonte: Elaboração Própria (Taxa SIM – DATASUS, Pop 1996 – IBGE)

Quadro 6 - Percentagem de óbitos não
Informados ao sistema de saúde

Região/UF	%
TOTAL	16,55
Norte	40,16
. Rondônia	31,00
. Acre	19,52
. Amazonas	38,63
. Roraima	25,81
. Pará	46,52
. Amapá	13,14
. Tocantins	40,93
Nordeste	45,08
. Maranhão	70,64
. Piauí	81,26
. Ceará	45,33
. Rio Grande do Norte	39,51
. Paraíba	44,24
. Pernambuco	27,29
. Alagoas	40,36
. Sergipe	20,93
. Bahia	37,51
Sudeste	-3,27
. Minas Gerais	6,96
. Espírito Santo	1,05
. Rio de Janeiro	-7,19
. São Paulo	-6,49
Sul	-3,75
. Paraná	0,18
. Santa Catarina	-2,73
. Rio Grande do Sul	-7,57
Centro-Oeste	12,70
. Mato Grosso do Sul	-2,20
. Mato Grosso	28,68
. Goiás	14,17
. Distrito Federal	5,51

Fonte: Óbitos informados: MS/Sistema de Informações de Mortalidade Óbitos
estimados: IBGE (CENSOS e PNADs)

Anexo 3 – Dados da DATAPREV sobre acidentes de trabalho no setor elétrico:

Quadro 1 – Acidentes de Trabalho do Setor Elétrico do GRIDIS¹¹⁶
Geração e Transmissão

Ano	Número de Empregados	Ac. Típico com Perda de Tempo	Dias de Afastamento Típico	Afastamento Típico Médio	Acidentes Com Morte	Acidentes Sem Perda de Tempo	Ac. Trajeto Com Perda de Tempo	Eletricidade Produzida 10 ³ MWh
1982	44260	758	11249	14,84	17	Nd	Nd	152089
1983	40360	721	13311	18,46	12	Nd	Nd	162492
1984	44632	760	17605	23,16	12	Nd	Nd	179388
1985	41220	798	15030	18,83	3	Nd	Nd	193682
1986	42890	824	17146	20,81	15	Nd	Nd	202128
1987	42970	832	22823	27,43	6	572	201	203331
1988	44624	733	18541	25,29	9	408	166	214952
1989	46153	677	13385	19,77	8	355	151	221738
1990	48812	601	14306	23,80	10	337	113	222820
Média	43991,22	744,89	15932,89	21,38	10,22	418,00	157,75	194735,6

Fonte: GRIDIS 1981, 82, 83, 84, 85, 86 ,87, 88, 89, 90 e BEN 1999 e 1998

Quadro 2 – Acidentes de Trabalho do Setor Elétrico do GRIDIS
Distribuição

Ano	Número de Empregados	Ac. Típico com Perda de Tempo	Dias de Afastamento Típico	Afastamento Típico Médio	Acidentes Com Morte	Acidentes Sem Perda de Tempo	Ac. Trajeto Com Perda de Tempo	Eletricidade Produzida 10 ³ MWh
1982	58243	1760	41045	23,32	38	Nd	Nd	152089
1983	59598	1700	30663	18,04	29	Nd	Nd	162492
1984	60936	1621	42077	25,96	35	Nd	Nd	179388
1985	64203	1686	24285	14,40	31	Nd	Nd	193682
1986	65875	1653	30834	18,65	38	Nd	Nd	202128
1987	66949	1665	47959	28,80	33	909	201	203331
1988	68377	1548	32332	20,89	37	559	176	214952
1989	71874	1413	33799	23,92	30	635	164	221738
1990	72833	1356	39371	29,03	27	534	146	222820
Média	65432,00	1600,22	35818,33	22,56	33,11	659,25	171,75	194735,6

Fonte: GRIDIS 1981, 82, 83, 84, 85, 86 ,87, 88, 89, 90 e BEN 1999, 98

¹¹⁶ Descontamos do número de acidentes típicos os casos de acidentes com morte, bem como dos dias de afastamento (a Eletrobrás computa 6.000 dias perdidos por morte). O afastamento médio é o número de dias de afastamento dividido pelo número de acidentes. Nd – significa que não existem ou não foram disponibilizados os dados.

Quadro 3 – Acidentes de Trabalho do Setor Elétrico do GRIDIS
Construção

Ano	Número de Empregados	Ac. Típico com Perda de Tempo	Dias de Afastamento Típico	Afastamento Típico Médio	Acidentes Com Morte	Acidentes Sem Perda de Tempo	Ac. Trajeto Com Perda de Tempo
1982	11469	275	4649	16,91	2	Nd	Nd
1983	12110	275	3784	13,76	2	Nd	Nd
1984	11866	235	3560	15,15	2	Nd	Nd
1985	12197	240	3323	13,85	2	Nd	Nd
1986	11981	250	4154	16,62	2	Nd	Nd
1987	11929	234	10420	44,53	1	102	27
1988	12178	173	7061	40,82	0	55	40
1989	11849	136	2278	16,75	1	47	20
1990	13771	134	2845	21,23	0	46	17
Média	12150,00	216,89	4674,89	22,18	1,33	62,50	26,00

Fonte: GRIDIS 1981, 82, 83, 84, 85, 86 ,87, 88, 89, 90

Quadro 4 – Acidentes de Trabalho do Setor Elétrico do GRIDIS
Outros

Ano	Número de Empregados	Ac. Típico com Perda de Tempo	Dias de Afastamento Típico	Afastamento Típico Médio	Acidentes Com Morte	Acidentes Sem Perda de Tempo	Ac. Trajeto Com Perda de Tempo	Eletricidade Produzida 10 ³ MWh
1982	60943	682	11206	16,43	5	Nd	Nd	152089
1983	60360	689	13819	20,06	4	Nd	Nd	162492
1984	61262	652	9673	14,84	2	Nd	Nd	179388
1985	64061	642	16601	25,86	5	Nd	Nd	193682
1986	67144	666	14088	21,15	9	Nd	Nd	202128
1987	67796	667	18003	26,99	7	328	287	203331
1988	69962	649	16622	25,61	8	260	269	214952
1989	71254	640	11973	18,71	5	253	272	221738
1990	69364	604	13099	21,69	10	215	229	222820
Média	65794,00	654,56	13898,22	21,26	6,11	264,00	264,25	194735,6

Fonte: GRIDIS 1981, 82, 83, 84, 85, 86 ,87, 88, 89, 90 e BEN 1999, 98

Anexo 4 – Dados do DATASUS e IBGE para o cálculo dos custos de morbidade de doenças respiratórias causadas por particulados secundários (nitrato via úmida):

Quadro 1 – Dados do SUS de doenças respiratórias no ano de 1996

Doença	Nº Internações		Média Perm (dias)	Val. Médio (R\$ 1996)	Nº mortes
	Até 14 anos	> 14 anos			
Amigdalite aguda	777	476	2,7	88,95	2
Laringite e traqueíte agudas	40.899	24.516	3,7	76,23	155
Outras infecções do trato respiratório superior	17.846	55.319	5,8	349,07	8.595
Faringite e sinusite crônicas	273	894	2,9	178,50	1
Crônicas amígdalas e adenóides	14.005	2.315	1,3	131,73	2
Outras do trato resp. superior	7.080	11.442	3,7	134,20	217
Pneumonia	651.217	414.955	5,8	188,03	20.969
Gripe	228	482	4,0	102,44	2
Bronquite e bronquiolite agudas	26.801	2.825	4,2	99,65	149
Bronquite crônica, asma	198.720	260.439	4,2	238,29	4.568
Bronquectasia	511	5.347	8,5	233,75	156
Outras pulm. obstrutivas crônicas	603	150.419	6,2	315,12	5.989
Pneumoconioses	521	1.243	8,9	439,49	164
Doenças pulm dev ag externos	409	1.154	8,6	432,03	135
Pneumonite dev sólidos líquidos	112	89	11,0	497,50	29
Pleuris	1.087	2.206	11,8	571,28	247
Outras doenças do pulmão	3.828	29.191	6,9	490,19	5.657
Outras aparelho respiratório	43.083	36.038	8,0	449,55	6.039
Total	1.008.000	999.350	5,5	225,25	53.076

Fonte: Elaboração própria baseado no Datasus

Anexo 5 – Gráficos para obtenção dos coeficientes de dispersão vertical e horizontal do modelo Gaussiano:

Anexo 6 – Altitudes solares e Azimutes Anuais no Complexo Termelétrico RioGen:

Anexo 7 – Estimativas populacionais na área de influência da dispersão do Complexo Termelétrico RioGen:

Os dados de população dos municípios foram obtidos de projeções do IBGE baseadas nos censos 1980 e 1991, PNADs, e no levantamento populacional de 1996. Os dados de população das regiões administrativas foram obtidos no Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro 1993/94, e extrapolados para 2000 segundo as tendências de crescimento do município do Rio de Janeiro, de forma conservadora, pois estas regiões fazem parte da zona de expansão da cidade e crescem mais do que a média.

Quadro 1 – População residente por ano segundo município – período 1991-2001

Município	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Região do Médio Paraíba										
Mendes	16.598	16.704	16.824	16.976	17.122	17.185	17.344	17.478	17.613	17.747
Engo Paulo de Frontin	12.061	12.148	11.951	12.061	12.163	12.543	12.658	12.754	12.851	12.948
Região Metropolitana										
Belford Roxo	0	367.700	370.280	373.594	376.831	399.319	408.949	417.061	425.194	433.348
Itaguaí	113.057	115.233	116.952	117.998	119.020	125.063	71.805	73.219	74.636	76.058
Japeri	0	67.115	67.528	68.133	68.726	73.130	76.028	78.469	80.917	83.371
Nilópolis	158.092	157.581	159.197	160.626	162.016	155.272	154.569	153.976	153.383	152.787
Nova Iguaçu	1.297.704	782.150	792.915	800.019	806.945	826.188	839.600	850.899	862.225	873.583
Paracambi	36.427	36.973	37.335	37.670	37.998	39.441	40.128	40.707	41.287	41.869
Queimados	0	100.581	101.447	102.352	103.242	108.522	110.940	112.978	115.020	117.068
São João de Meriti	425.772	427.322	430.352	434.204	437.960	434.323	436.455	438.251	440.052	441.858
Seropédica	0	0	0	0	0	0	56.252	57.360	58.471	59.584
Município do Rio de Janeiro										
Rio de Janeiro	5.480.768	5.493.603	5.547.030	5.596.712	5.645.166	5.551.538	5.569.181	5.584.049	5.598.953	5.613.897
XVIII RA – C Grande	380.942									390.195
XIX RA – Santa Cruz	254.500									260.682
XXVI RA - Guaratiba	60.774									62.250

Fonte: Dados municípios, IBGE 2000; e das RA, Anuário Estatístico da Cidade do Rio de Janeiro 93/94

Anexo 8 – Contribuições de dispersão horizontal dos ventos nas direções N, NE, E, SE, S, SO, O, NO na área de influência da dispersão do Complexo Termelétrico RioGen:

As distâncias na direção do vento (x) e na direção transversal a direção do vento (y) entre a usina e cada centro dentro da área de influência, em relação a cada uma das direções da rosa dos ventos está dada no quadro 1.

Quadro 1 – Distâncias (x) e (y) entre a usina e cada centro dentro da área de influência

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Engenheiro Paulo de Frontin								
x (km)	18,5	12,5	-	-	-	-	1,5	14
y (km)	1,5	14	-	-	-	-	-18,5	-12,5
Mendes								
x (km)	22	11	-	-	-	-	6,5	20
y (km)	6,5	20	-	-	-	-	-22	-11
Belford Roxo								
x (km)	-	11,5	25	24,5	9,5	-	-	-
y (km)	-	-24,5	-9,5	11,5	25	-	-	-
Itaguaí								
x (km)	-	-	-	2	16,5	21,5	14	-
y (km)	-	-	-	-21,5	-14	2	16,5	-
Japeri								
x (km)	8	5,5	-	-	-	-	0,5	6
y (km)	0,5	6	-	-	-	-	-8	-5,5
Nilópolis								
x (km)	-	5	21	24,5	13,5	-	-	-
y (km)	-	-24,5	-13,5	5	21	-	-	-
Nova Iguaçu								
x (km)	-	8,5	20	20	8	-	-	-
y (km)	-	-20	-8	8,5	20	-	-	-
Paracambi								
x (km)	11,5	4,5	-	-	-	-	5	12
y (km)	5	12	-	-	-	-	-11,5	-4,5
Queimados								
x (km)	-	9,5	16	13	2,5	-	-	-
y (km)	-	-13	-2,5	9,5	16	-	-	-
São João de Meriti								
x (km)	-	9,5	27	28,5	13,5	-	-	-
y (km)	-	-28,5	-13,5	9,5	27	-	-	-
Seropédica								
x (km)	-	-	-	-	4	8	7	2
y (km)	-	-	-	-	-7	-2	4	8
XVIII RA – Campo Grande								
x (km)	-	-	8	22,5	23,5	11	-	-
y (km)	-	-	-23,5	-11	8	22,5	-	-
XIX RA – Santa Cruz								
x (km)	-	-	-	12,5	23,5	20	5,5	-
y (km)	-	-	-	-20	-5,5	12,5	23,5	-
XXVI RA – Guaratiba								
x (km)	-	-	3,5	23,5	30	19	-	-
y (km)	-	-	-30	-19	3,5	23,5	-	-

Fonte: Elaboração própria com medidas aferidas na carta do estado do Rio de Janeiro.

Utilizando a equação de Holland e os dados dos quadros 58 e 59 do item 3.2.3 para o cálculo do ΔH , temos para a altura efetiva de liberação dos poluentes $H = h + \Delta H$, para cada uma das direções dos ventos, os valores apresentados no quadro 2. Para a direção norte os cálculos são: $\Delta H = ((23,01 \times 4,53) \div 5,31) \times [1,5 + (2,68 \times 10^{-2} \times 101,09 \times ((495,51 - 296,4) \div 495,51) \times 4,53)] = 126,25$; $H = 126,25 + 35,37 = 161,62$ m.

Quadro 2: Altura efetiva de liberação dos poluentes

Direção	ΔH de Holland (m)	Altura H (m)
N	126,25	161,62
NE	129,42	164,79
E	170,15	205,52
SE	177,82	213,19
S	150,99	186,36
SO	165,94	201,31
O	136,26	171,63
NO	137,94	173,31

Fonte: Elaboração própria

Utilizando as distâncias na direção dos ventos entre a fonte e as localidades (x) do quadro 2 para cada uma das direções das rosas dos ventos, podemos obter os coeficientes de dispersão vertical e horizontal para cada uma das classes de estabilidade de Pasquill. Ponderando estas classes de estabilidade pelas suas frequências de ocorrência (quadro 61 do item 5.3.3) obtemos os coeficientes de dispersão vertical e horizontal ponderados para cada uma das direções das rosas dos ventos. Os cálculos são apresentados no quadro 3.

Quadro 3 – Coeficientes de dispersão horizontal σ_y e vertical σ_z .

Classe	B	C	D	E	Ponderado
Engenheiro Paulo de Frontin					
N - σ_y	1915,95	1110,76	925,54	471,86	946,81
N - σ_z	2774,85	929,52	299,93	102,60	594,25
NE - σ_y	1366,60	807,85	654,28	333,04	672,14
NE - σ_z	1772,30	643,84	216,17	86,14	401,83
O - σ_y	210,74	134,15	97,28	49,19	101,69
O - σ_z	171,55	90,51	37,21	26,74	54,49
NO - σ_y	1507,27	886,23	723,43	368,40	742,30
NO - σ_z	2016,46	715,84	237,62	90,73	449,59

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3 – Coeficientes de dispersão horizontal σ_v e vertical σ_z .

Classe	B	C	D	E	Ponderado
Mendes					
N - σ_v	2222,39	1276,31	1078,16	550,08	1100,72
N - σ_z	3388,50	1093,79	346,72	110,39	708,24
NE - σ_v	1223,28	727,36	584,06	297,15	600,78
NE - σ_z	1532,97	571,36	194,30	81,14	354,29
O - σ_v	773,11	469,81	365,30	185,51	377,62
O - σ_z	848,72	350,03	125,37	62,52	212,76
NO - σ_v	2048,37	1182,58	991,39	505,60	1013,26
NO - σ_z	3035,47	1000,10	320,14	106,07	642,95
Belford Roxo					
NE - σ_v	1271,37	754,44	607,60	309,17	624,71
NE - σ_z	1612,19	595,58	201,64	82,85	370,11
E - σ_v	2478,46	1412,96	1206,32	615,82	1229,69
E - σ_z	3929,18	1233,53	385,89	116,33	806,96
SE - σ_v	2436,17	1390,49	1185,12	604,94	1208,37
SE - σ_z	3838,18	1210,30	379,42	115,38	790,44
S - σ_v	1076,94	644,47	512,64	260,67	528,07
S - σ_z	1298,90	498,31	171,95	75,63	306,96
Itaguaí					
SE - σ_v	272,53	172,14	126,31	63,91	131,78
SE - σ_z	233,43	117,83	47,19	32,05	70,78
S - σ_v	1736,57	1012,77	836,62	426,32	856,93
S - σ_z	2433,25	834,94	272,58	97,63	529,69
SO - σ_v	2179,15	1253,09	1056,57	539,01	1078,98
SO - σ_z	3299,67	1070,41	340,12	109,34	691,88
O - σ_v	1507,27	886,23	723,43	368,40	742,30
O - σ_z	2016,46	715,84	237,62	90,73	449,59
Japeri					
N - σ_v	927,11	558,80	439,80	223,50	453,78
N - σ_z	1070,59	424,59	149,02	69,49	259,80
NE - σ_v	667,68	408,29	314,52	159,63	325,60
NE - σ_z	704,81	299,75	109,12	57,28	181,43
O - σ_v	78,32	51,14	35,67	17,99	37,53
O - σ_z	54,29	33,27	15,07	12,58	20,42
NO - σ_v	720,70	439,29	340,04	172,63	351,75
NO - σ_z	776,34	324,95	117,30	59,97	197,10
Nilópolis					
NE - σ_v	613,99	376,74	288,74	146,50	299,15
NE - σ_z	634,19	274,40	100,81	54,42	165,76
E - σ_v	2135,73	1229,73	1034,91	527,91	1057,15
E - σ_z	3211,21	1047,00	333,48	108,27	675,54
SE - σ_v	2436,17	1390,49	1185,12	604,94	1208,37
SE - σ_z	3838,18	1210,30	379,42	115,38	790,44
S - σ_v	1460,65	860,33	700,49	356,67	719,04
S - σ_z	1934,56	691,89	230,51	89,24	433,64

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3 – Coeficientes de dispersão horizontal σ_v e vertical σ_z .

Classe	B	C	D	E	Ponderado
Nova Iguaçu					
NE - σ_v	977,47	587,69	464,25	235,97	478,73
NE - σ_z	1146,01	449,24	156,73	71,61	275,50
E - σ_v	2048,37	1182,58	991,39	505,60	1013,26
E - σ_z	3035,47	1000,10	320,14	106,07	642,95
SE - σ_v	2048,37	1182,58	991,39	505,60	1013,26
SE - σ_z	3035,47	1000,10	320,14	106,07	642,95
S - σ_v	927,11	558,80	439,80	223,50	453,78
S - σ_z	1070,59	424,59	149,02	69,49	259,80
Paracambi					
N - σ_v	1271,37	754,44	607,60	309,17	624,71
N - σ_z	1612,19	595,58	201,64	82,85	370,11
NE - σ_v	559,56	344,62	262,67	133,23	272,37
NE - σ_z	564,53	248,89	92,37	51,39	150,07
O - σ_v	613,99	376,74	288,74	146,50	299,15
O - σ_z	634,19	274,40	100,81	54,42	165,76
NO - σ_v	1319,13	781,27	631,00	321,14	648,49
NO - σ_z	1691,97	619,74	208,93	84,52	385,96
Queimados					
NE - σ_v	1076,94	644,47	512,64	260,67	528,07
NE - σ_z	1298,90	498,31	171,95	75,63	306,96
E - σ_v	1691,18	987,84	814,18	414,83	834,22
E - σ_z	2348,96	811,20	265,66	96,31	513,62
SE - σ_v	1413,77	834,20	677,44	344,88	695,65
SE - σ_z	1853,16	667,89	223,36	87,71	417,72
S - σ_v	332,47	208,65	154,60	78,28	161,03
S - σ_z	296,98	144,67	56,75	36,70	86,84
São João de Meriti					
NE - σ_v	1076,94	644,47	512,64	260,67	528,07
NE - σ_z	1298,90	498,31	171,95	75,63	306,96
E - σ_v	2646,19	1501,69	1290,57	659,06	1314,33
E - σ_z	4296,61	1326,23	411,59	119,97	873,28
SE - σ_v	2770,55	1567,08	1353,17	691,20	1377,15
SE - σ_z	4575,64	1395,53	430,67	122,57	923,28
S - σ_v	1460,65	860,33	700,49	356,67	719,04
S - σ_z	1934,56	691,89	230,51	89,24	433,64
Seropédica					
S - σ_v	504,31	311,84	236,26	119,79	245,22
S - σ_z	495,89	223,19	83,77	48,15	134,35
SO - σ_v	927,11	558,80	439,80	223,50	453,78
SO - σ_z	1070,59	424,59	149,02	69,49	259,80
O - σ_v	824,96	499,88	390,34	198,27	403,24
O - σ_z	921,91	374,99	133,35	64,95	228,43
NO - σ_v	272,53	172,14	126,31	63,91	131,78
NO - σ_z	233,43	117,83	47,19	32,05	70,78

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3 – Coeficientes de dispersão horizontal σ_y e vertical σ_z .

Classe	B	C	D	E	Ponderado
Campo Grande					
E - σ_y	927,11	558,80	439,80	223,50	453,78
E - σ_z	1070,59	424,59	149,02	69,49	259,80
SE - σ_y	2265,46	1299,40	1099,68	561,11	1122,40
SE - σ_z	3477,71	1117,14	353,31	111,42	724,63
S - σ_y	2351,13	1345,20	1142,52	583,09	1165,52
S - σ_z	3657,23	1163,77	366,41	113,43	757,48
SO - σ_y	1223,28	727,36	584,06	297,15	600,78
SO - σ_z	1532,97	571,36	194,30	81,14	354,29
Santa Cruz					
SE - σ_y	1366,60	807,85	654,28	333,04	672,14
SE - σ_z	1772,30	643,84	216,17	86,14	401,83
S - σ_y	2351,13	1345,20	1142,52	583,09	1165,52
S - σ_z	3657,23	1163,77	366,41	113,43	757,48
SO - σ_y	2048,37	1182,58	991,39	505,60	1013,26
SO - σ_z	3035,47	1000,10	320,14	106,07	642,95
O - σ_y	667,68	408,29	314,52	159,63	325,60
O - σ_z	704,81	299,75	109,12	57,28	181,43
Guaratiba					
E - σ_y	448,14	278,33	209,49	106,17	217,66
E - σ_z	428,35	197,28	74,99	44,66	118,59
SE - σ_y	2351,13	1345,20	1142,52	583,09	1165,52
SE - σ_z	3657,23	1163,77	366,41	113,43	757,48
S - σ_y	2893,75	1631,56	1415,32	723,12	1439,46
S - σ_z	4857,53	1464,66	449,59	125,05	973,50
SO - σ_y	1960,28	1134,86	947,57	483,14	969,05
SO - σ_z	2861,31	953,07	306,70	103,78	610,46

Fonte: Elaboração própria.

Com os dados dos quadro 58 (item 5.3.3), 1, 2, e 3 podemos aplicar a equação do modelo de dispersão. Note que as direções principais das rosas dos ventos contribuem nas cidades apenas com suas parcelas de dispersão, e não de forma direta. O quadro 4 nos mostra o resultado dos cálculos.

Quadro 4 – Concentrações nas cidades devido aos ventos nas direções principais da rosa dos ventos

Direção	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Engenheiro Paulo de Frontin								
C (g/m^3)	8,7022E-06	3,8444E-99	-	-	-	-	0	1,4386E-66
Mendes								
C (g/m^3)	5,9643E-13	1,733E-245	-	-	-	-	0	7,3842E-31
Belford Roxo								
C (g/m^3)	-	0	2,57E-18	5,4488E-25	0	-	-	-
Itaguaí								
C (g/m^3)	-	-	-	0	4,86E-63	5,4E-06	2,7E-112	-

Fonte: Elaboração própria

Quadro 4 – Concentrações nas cidades devido aos ventos nas direções principais da rosa dos ventos

Direção	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
Japeri								
C (g/m ³)	6,7888E-05	3,7467E-78	-	-	-	-	0	1,5488E-57
Nilópolis								
C (g/m ³)	-	0	1,24E-40	4,8531E-09	3,8E-190	-	-	-
Nova Iguaçu								
C (g/m ³)	-	0	1,02E-18	1,9103E-20	0	-	-	-
Paracambi								
C (g/m ³)	8,6130E-19	0	-	-	-	-	0	2,4609E-15
Queimados								
C (g/m ³)	-	2,436E-136	5,8E-07	2,4183E-45	0	-	-	-
São João de Meriti								
C (g/m ³)	-	0	2,51E-28	8,9243E-16	0	-	-	-
Seropédica								
C (g/m ³)	-	-	-	-	2,8E-181	8,9E-09	6,76E-26	0
Campo Grande								
C (g/m ³)	-	-	0	4,1108E-26	1,38E-15	0	-	-
Santa Cruz								
C (g/m ³)	-	-	-	4,406E-197	3,42E-10	3,07E-38	0	-
Guaratiba								
C (g/m ³)	-	-	0	5,3818E-63	7,77E-07	7,4E-133	-	-

Fonte: Elaboração própria