



COPPE/UFRJ

USO DE ENERGIA EM TRANSPORTE: ANÁLISE COMPARATIVA DA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE OS CICLOS DE VIDA DO GÁS NATURAL
VEICULAR COMPRIMIDO E DA ENERGIA TERMELÉTRICA A GÁS PARA
USO FINAL EM AUTOMÓVEIS LEVES

Mauro Pereira Hill

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Engenharia de Transportes,
COPPE, da Universidade Federal do Rio de
Janeiro, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Junho de 2010

USO DE ENERGIA EM TRANSPORTE: ANÁLISE COMPARATIVA DA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE OS CICLOS DE VIDA DO GÁS NATURAL
VEICULAR COMPRIMIDO E DA ENERGIA TERMELÉTRICA A GÁS PARA
USO FINAL EM AUTOMÓVEIS LEVES

Mauro Pereira Hill

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof^o. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof^a. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

Prof^o. Néilton Fidélis da Silva, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2010

Hill, Mauro Pereira

Uso de Energia em Transporte: Análise comparativa da eficiência energética entre os ciclos de vida do gás natural veicular comprimido e da energia termelétrica a gás para uso final em automóveis leves./Mauro Pereira Hill - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIV, 154 p.: il. 29,7cm.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2010.

Referências Bibliográficas: p.138-147.

1. Análise de Ciclo de Vida. 2. Eficiência Energética.
3. Transporte Rodoviário em Meio Urbano. I. D'Agosto, Marcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes
- III. Título

Agradecimentos:

Aos meus pais, que sempre priorizaram a educação em minha formação e sempre foram fontes de inspiração de vida. À minha madrinha Carmem Déa e meu primo Cristiano, pessoas positivas. À toda minha família, meu porto seguro.

Aos “amigos de fé, irmãos, camaradas”: Julio Khichfy, Diogo Alves, Luciano Morse, Felipe Affonso, Mariana Lima, Ricardo Dumans, Daniel Noro, Daniel Oberleander, Sérgio Maranhão e Tiago Colnago, que me acompanharam de perto ou de longe nesta e noutras jornadas.

Um agradecimento carinhoso à companhia e à energia de Aline Freitas.

Aos amigos que fiz na COPPE: Brunno Santos e Emmanuella Jordão.

Agradeço ao professor Márcio D’Agosto pela sugestão do tema desta dissertação, que me proporcionou uma melhor capacidade para enxergar horizontes mais distantes.

Merecem agradecimento especial pela contribuição imensurável neste trabalho: Juarez Janvrot, Marco Silva e João Lavoura.

É dedicada também aos cientistas, estudiosos e pessoas em geral que, em algum lugar na história, contribuíram com pesquisas e descobertas, proporcionando a consolidação da vasta base científica que foi capaz de me munir de conhecimentos e ferramentas para elaborar esta dissertação.

Às secretárias do programa de engenharia de transportes: Maria Helena e Jane Correa, pessoas doces.

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

USO DE ENERGIA EM TRANSPORTE: ANÁLISE COMPARATIVA DA
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE OS CICLOS DE VIDA DO GÁS NATURAL
VEICULAR COMPRIMIDO E DA ENERGIA TERMELÉTRICA A GÁS PARA
USO FINAL EM AUTOMÓVEIS LEVES

Mauro Pereira Hill

Junho/2010

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Programa: Engenharia de Transporte

Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre duas fontes de energia para uso veicular considerando a cadeia de suprimentos e uso final para cada alternativa sob a ótica do consumo e da eficiência energética. O procedimento utilizado é baseado na NBR ISO 14040: Análise de Ciclo de Vida (ACV). A aplicação do procedimento estabelece uma análise comparativa capaz de verificar que o ciclo de vida do gás natural comprimido utilizado em veículos equipados com motores de combustão interna (de ciclo Otto) é menos eficiente energeticamente e consome mais energia do que o ciclo de vida da energia elétrica produzida a partir do gás natural em usinas termelétricas para uso final em veículos elétricos à bateria (*plug in*).

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

THE USE OF ENERGY IN TRANSPORT: LIFE CYCLE ASSESSMENT
COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY BETWEEN THE USE OF NATURAL
GAS ON INTERNAL COMBUSTION ENGINES OR ON THERMOELECTRICAL
PRODUCTION TO BE USED IN PLUG IN ELECTRIC VEHICLES

Mauro Pereira Hill

June/2010

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering Program

This work presents a comparative analysis of two roadway transport energy sources considering the supply chain and final use of each alternative under the optical of the energetic efficiency and energy consumption. The procedure used is based on NBR ISO 14040: Life-Cycle-Assessment (LCA). The procedure application provides a comparative analysis capable to verify that the life cycle of compressed natural gas used in vehicles equipped with internal combustion engine (Otto cycle) is less energetically efficient and consumes more energy than life cycle of electrical energy produced from gas in thermoelectric units to be used in plug in electric vehicles.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – Introdução.....	1
1.1. JUSTIFICATIVA.....	1
1.2. HIPÓTESE E PREMISSAS DA PESQUISA.....	3
1.3. OBJETO DE ESTUDO.....	4
1.4. OBJETIVO DO ESTUDO.....	4
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
CAPÍTULO 2 - O gás natural comprimido para uso automotivo.....	7
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	7
2.2. O GÁS NATURAL.....	7
2.3. USO DO GNC NO MUNDO.....	8
2.4. USO DO GNC NO BRASIL.....	10
2.5. CADEIA DE SUPRIMENTO DO GNC.....	12
2.5.1. Prospecção e Perfuração Exploratória.....	13
2.5.2. Perfuração de Desenvolvimento.....	15
2.5.3. Produção do GN: Elevação, Separação e Processamento Primário.....	15
2.5.4. Transferência de GN.....	17
2.5.5. Processamento de GN.....	18
2.5.6. Transporte de GN.....	20
2.5.7. Distribuição de GN.....	24
CAPÍTULO 3 - A energia elétrica produzida a partir de termelétricas a gás natural.....	30
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	30
3.2. ENERGIA TERMELÉTRICA NO MUNDO.....	30
3.3. ENERGIA TERMELÉTRICA NO BRASIL.....	31
3.4. CADEIA DE SUPRIMENTO DA ENERGIA TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL.....	34
3.4.1. Fornecimento da matéria-prima.....	34
3.4.2. Geração da Energia Termelétrica a Gás.....	37
3.4.3. Transmissão e Distribuição.....	42

CAPÍTULO 4 – Veículo leve movido a GNC e VEBs (veículo elétrico a bateria).....	47
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	47
4.2 O VEÍCULO A GNC.....	47
4.2.1 Veículos a GNC no Mundo.....	51
4.2.2 Veículos a GNC no Brasil.....	53
4.3 O VEÍCULO ELÉTRICO A BATERIA (VEB).....	55
4.3.1 Tecnologia do Veículo Elétrico a Bateria.....	56
4.3.2 Indústria do Veículo Elétrico a Bateria no Mundo.....	58
4.3.3 Indústria do Veículo Elétrico a Bateria no Brasil.....	63
CAPÍTULO 5. Procedimento para análise do ciclo de vida de fontes de energia aplicadas ao transporte rodoviário.....	66
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	66
5.2 O PROCEDIMENTO.....	67
5.2.1. Fase 1: Objetivo e Escopo.....	68
5.2.2. Fase 2: Inventário de Ciclo de Vida.....	72
5.2.2.1 Obtenção das matrizes de consumo energético [F].....	72
5.2.3. Fase 3: Avaliação dos Dados.....	74
5.2.4. Fase 4: Comparação dos Resultados.....	75
5.3. ACV APLICADA ÀS FONTES DE ENERGIA GNC E ELETRICIDADE PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO.....	77
CAPÍTULO 6. Aplicação do procedimento para análise do ciclo de vida de fontes de energia aplicadas ao transporte rodoviário.....	82
6.1. FASE 1 - OBJETIVO E ESCOPO.....	82
6.2. FASE 2 – INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA.....	89
6.2.1 Inventário do ciclo de vida do par (GNC,VCI) - ICV ₁	90
6.2.1.1–Matrizes de Eficiência Energética [E1] e de Consumo Energético [F1] do ICV ₁	102
6.2.2 Inventário do ciclo de vida do par (ETE,VEB) - ICV ₂	108
6.2.2.1–Matrizes de Eficiência Energética [E2] e de Consumo Energético [2] do ICV ₂	118
6.3. FASE 3 – AVALIAÇÃO DOS DADOS [F1] e [F2].....	123
6.3.1 – Verificação dos dados.....	123
6.3.2 Matrizes [F1’] e [F2’] dos ICVs.....	124

6.4. FASE 4 – COMPARAÇÃO E CONCLUSÕES.....	128
6.4.1. Comparação e Conclusões referentes a [E1] e [E2].....	128
6.4.2. Comparações e Conclusões referentes a [F1'] e [F2'].....	130
CAPÍTULO 7. Conclusões da dissertação e recomendações para trabalhos futuros....	133
7.1. CONCLUSÕES SOBRE A DISSERTAÇÃO.....	133
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
ANEXO I – TERMINAL DE REGASEIFICAÇÃO NA BAÍA DE GUANABARA.....	148
ANEXO II – REDE DE OPERAÇÃO DO SIN – LINHAS DE TRANSMISSÃO.....	149
ANEXO III. TABULAÇÃO DA PESQUISA COM TAXISTAS.....	150
ANEXO IV. MEMÓRIA DE CÁLCULO [F1] A PARTIR DE [E1].....	151
ANEXO V. REGISTROS (SILVA, 2010).....	152
ANEXO VI. MEMÓRIA DE CÁLCULO [F2] A PARTIR DE [E2].....	154
ANEXO VII. FATORES DE CONVERSÃO.....	154

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Consumo de GNC no setor de transporte rodoviário
- Figura 2. Oferta de gás: disponibilidade interna e importação.
- Figura 3. Participação do setor de transportes no consumo de GN em 2007
- Figura 4. Distribuição de reservas provadas de petróleo e gás no mundo
- Figura 5. Reservas provadas de petróleo e gás no Brasil em 2007
- Figura 6. Reservas provadas de gás natural no Brasil até dezembro de 2007
- Figura 7. Direcionamento do gás natural produzido no Brasil em 2008
- Figura 8. Mapa com localização das UPGN's
- Figura 9. Resultado do processamento do gás natural na UPGN
- Figura 10. Mapa dos gasodutos de transporte de gás natural.
- Figura 11. Fluxograma da cadeia de suprimento do gás natural comprimido
- Figura 12. Matriz de geração de energia elétrica mundial 1973 e 2006
- Figura 13. Projeção da expansão da geração termelétrica no Brasil
- Figura 14. Localização e faixa de potência das termelétricas a GN no Brasil
- Figura 15. Fluxograma de turbina em ciclo simples (ou aberto)
- Figura 16. Fluxograma de uma termelétrica a ciclo combinado (ou fechado)
- Figura 17. Fluxograma da cadeia de suprimento da energia termelétrica a gás
- Figura 18. Componentes específicos para adaptação de veículos ao uso do GNC
- Figura 19. Preço médio do GNC para o usuário final nos postos de abastecimento
- Figura 20. Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço
- Figura 21. Etapas da Análise do Ciclo de Vida de um produto ou serviço
- Figura 22. Fases do procedimento para comparação de fontes de energia para transporte
- Figura 23. Matriz genérica de Alternativas de Ciclos de Vida (MACV)
- Figura 24. Limites da Abrangência da ACV
- Figura 25. Fluxos de energia em processo(s) ou estágio do ciclo de vida
- Figura 26. Detalhamento das fases do procedimento para comparação de fontes de energia para transporte
- Figura 27. Matriz de Alternativas de Ciclo de Vida (MACV)
- Figura 28. Modelo de Ciclo de Vida (MCV) associado à alternativa (GNC, VCI)
- Figura 29. Modelo de Ciclo de Vida (MCV) do par (ETE, VEB)
- Figura 30. Ciclo de Vida associado ao par (GNC, VCI)
- Figura 31. Distribuição de frequência do desempenho (km/m^3) de VCIs no RJ

Figura 32. Distribuição de frequência do desempenho (km/m^3) de VCIs no RJ considerando o uso do ar-condicionado

Figura 33. Frequência do desempenho (km/m^3) do VCI

Figura 34. Gráfico da eficiência energética de E1 na profundidade de micro-estágios

Figura 35. Ciclo de Vida associado ao par (ETE, VEB)

Figura 36. iMiev – Veículo elétrico a bateria adotado para o estudo

Figura 37. Potência do iMiev diante os VCIs

Figura 38. Velocidade Máxima do iMiev diante os VCIs

Figura 39. Peso do iMiev diante dos VCIs

Figura 40. Esquema de funcionamento do VEB

Figura 41. Consumo energético do ICV_1 na profundidade de micro-estágios

Figura 42. Consumo energético do ICV_2 na profundidade de micro-estágios

Figura 43. Gráfico comparativo entre as eficiências energéticas dos ICV_1 e ICV_2 – na profundidade de macro-estágios

Figura 44. Gráfico comparativo entre as eficiências energéticas dos ICV_1 e ICV_2 – na profundidade de meso-estágios

Figura 45. Consumo energético dos ICV_1 e ICV_2 – na profundidade de macro-estágios

Figura 46. Gráfico do consumo de energia em $[\text{F1}']$ e $[\text{F2}']$

Figura 47. Os dez maiores produtos e/ou serviços industriais, segundo valores de vendas

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Estimativa do número de postos de abastecimento em outubro de 2009
- Tabela 2. Produção de gás natural por estado (10^3 m^3)
- Tabela 3. Composição típica gás associado e processado
- Tabela 4. Redes de gasodutos de distribuição em operação em 2008
- Tabela 5. Quantidade de postos de abastecimento de GNC e seus respectivos volumes médios comercializados por estado em 2008
- Tabela 6. Número de usinas termelétricas no Brasil por tipo de combustível em 2008
- Tabela 7. Comercialização de GN para geração de eletricidade em 2008
- Tabela 8. Perfil do parque termelétrico a gás no Brasil
- Tabela 9. Oficinas instaladoras de sistemas de adaptação de veículos para uso do GNC
- Tabela 10. As maiores frotas de veículos leves a GNC
- Tabela 11. Frota de veículos adaptados para uso de GNC por unidade federativa
- Tabela 12. Quadro comparativo entre tecnologias de baterias
- Tabela 13. Ficha técnica de veículos elétricos a bateria
- Tabela 14. Exemplo explicativo para obtenção de [F] a partir de [E]
- Tabela 15. Síntese das referências selecionadas sobre aplicação de ACV para as fontes de energia GNC e termeletricidade a partir do GN
- Tabela 16. Principais termelétricas a GN no estado do Rio de Janeiro
- Tabela 17. Produção de energia na Bacia de Campos
- Tabela 18. Consumo de energia na Bacia de Campos
- Tabela 19. Eficiência energética na Bacia de Campos
- Tabela 20. Eficiência energética do processo de transferência de matéria-prima
- Tabela 21. Balanço de massa, de energia, e eficiência energética da UPGN de Cabiúnas
- Tabela 22. Eficiência energética na atividade de transporte de GNC
- Tabela 23. Consumo de energia para compressão de GN.
- Tabela 24. Informações técnicas sobre veículos populares utilizados no Brasil
- Tabela 25. Desempenho do VCI em quilômetros rodados por m^3 de GNC
- Tabela 26. Matriz [E1] relacionada ao ICV_1
- Tabela 27. Matriz [F1] relacionada ao ICV_1
- Tabela 28. Eficiência energética na transferência de GN para termelétricas
- Tabela 29. Eficiências energéticas da produção de energia termelétrica
- Tabela 30. Eficiência energética na transmissão de energia elétrica

Tabela 31. Eficiência energética na distribuição de energia elétrica

Tabela 32. Eficiência no carregamento do VEB

Tabela 33. iMiev – Especificações técnicas

Tabela 34. Matriz [E2] relacionada ao ICV₂

Tabela 35. Matriz [F2] de consumo energético atribuído ao ICV₂

Tabela 36. Matriz [F1'] relacionada ao ICV₂

Tabela 37. Matriz [F2'] de consumo energético atribuído ao ICV₂

GLOSSÁRIO

ACV: Análise de Ciclo de Vida

EE: Energia elétrica produzida a partir de termelétricas

FE: Fontes de Energia

GN: gás natural

GNC: Gás Natural Comprimido para fins de uso veicular

GNL: Gás Natural Liquefeito

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

ICV: Inventário de Ciclo de Vida

MCI: Motor alternativo de combustão interna

MCV: Modelo de Ciclo de Vida

SP: Sistemas de Propulsão

UPGN: Unidade de Processamento de Gás Natural

UTENF: Usina Termelétrica Norte-Fluminense

VEB: Veículo Elétrico à Bateria *plug in* (não inclui híbridos *plug in*)

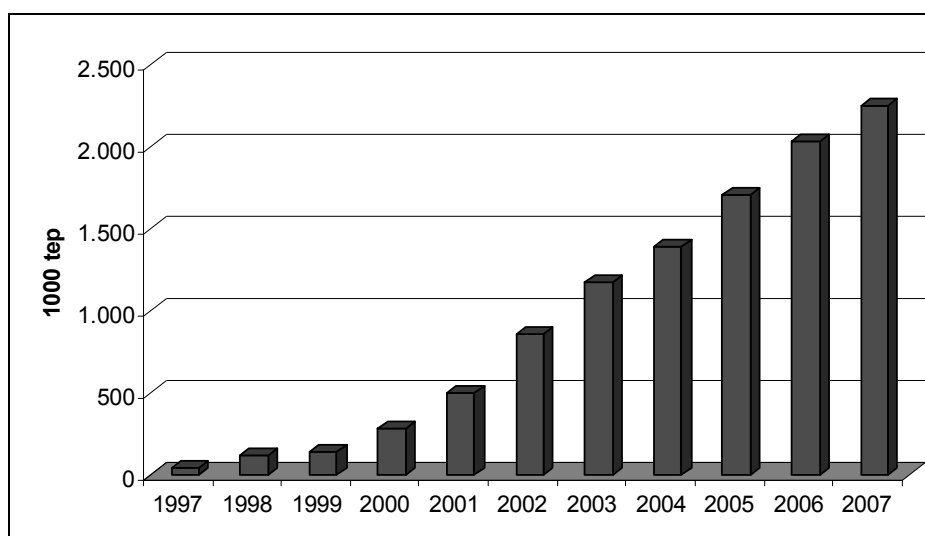
VCI: Veículo leve equipado com motor de combustão interna de ciclo Otto que utiliza o gás natural comprimido como combustível

Capítulo 1. Introdução

1.1. JUSTIFICATIVA

O consumo de gás natural (GN) no setor de transportes é uma realidade mundial e o Brasil encontra-se como 3º país (FOLHA, 2009a) em estrutura instalada voltada para o consumo de gás natural comprimido (GNC) no setor automotivo, em motores de ciclo Otto¹. O país possui cerca de 1.400.000 veículos a gás natural comprimido, o que representa 10% da frota nacional de veículos (FOLHA, 2009a).

No Brasil, o consumo de GN para transportes está associado exclusivamente ao modo rodoviário, não havendo consumo nos outros modos (MME, 2008). Existe registro de uso de GNC no modo rodoviário a partir de 1988. No entanto, o consumo automotivo passou a ter aumentos gradativos a partir de 1999 (Figura 1), coincidindo com o início das operações do gasoduto Brasil-Bolívia. A construção deste gasoduto beneficiou diversos setores, merecendo destaque a participação do GNC no setor de transportes que, entre 1999 e 2007, passou de 0,3% para 4,3% entre os combustíveis automotivos. Ainda que a frota de veículos leves² nacionais tenha sido primordialmente concebida para utilizar combustíveis líquidos (gasolina e etanol), a Figura 1 mostra este aumento na utilização do gás natural comprimido no setor de transporte do país na última década.



Fonte: ANP (2008)

Figura 1. Consumo de GNC no setor de transporte rodoviário

¹ motor de combustão interna de ciclo Otto: motor alternativo de ignição por centelha e ciclo de quatro tempos (admissão, compressão, explosão e exaustão). (D'AGOSTO, 2004).

² veículo leve: automóvel de passageiros com capacidade de carga até uma tonelada. ¹ (D'AGOSTO, 2004).

O GN é utilizado como combustível para automóveis equipados com motores de combustão interna (MCI). A eficiência energética (ou rendimento energético) dos motores de combustão interna está em torno de 15% (NUNES, 2006). No entanto, existe uma tecnologia concorrente ao veículo com MCI que é tecnicamente viável vem sendo aprimorada para adquirir melhor viabilidade comercial: o veículo equipado com motor elétrico a bateria (VEB). Neste veículo, o uso de motores elétricos possibilita que a eficiência energética esteja em torno de 80% (HANDA *et* YOSHIDA, 2007).

O gás natural pode ser utilizado na forma comprimida, em MCIs, ou então transformado em energia elétrica nas térmicas a gás, e esta forma de energia pode ser disponibilizada na rede de distribuição de eletricidade para ser empregada em VEBs. Uma das questões a serem respondidas por este estudo gira em torno da avaliação de quais dessas opções (relacionadas ao uso do gás natural) é energeticamente mais eficiente. Afinal, ainda que o motor elétrico seja mais eficiente do que o MCI, a vantagem energética em se utilizar o GN para gerar energia elétrica e mover uma frota de veículos elétricos se comparada com o uso de GNC em MCI, dependerá do estudo de todo o ciclo de vida destas fontes de energia. A análise deverá abranger além do uso final, a cadeia de suprimentos de cada uma das fontes. A análise sobre o uso da energia por estes ciclos de vida deve ser conduzida de forma que se consiga obter resultados sobre a eficiência energética e sobre o consumo energético em todo o ciclo. Como se trata de uma análise extensa de um produto, desde a extração da matéria-prima até o seu uso final, convém utilizar o conceito de ciclo de vida e a ferramenta de “análise do ciclo de vida” (ACV), que permitem analisar os impactos ambientais um determinado produto ou serviço em toda a extensão de seu processo produtivo e uso final.

Para a análise do ciclo de vida, pode ser empregada a ferramenta da norma NBR ISO 14040, chamada Análise de Ciclo de Vida (ACV), que contempla o uso de recursos naturais e os impactos ambientais ao longo da cadeia de suprimento e uso final das fontes de energia para os transportes (D’AGOSTO, 2004). A partir desta norma, D’AGOSTO (2004) criou um procedimento voltado para a aplicação da ACV para fontes de energia empregadas em transportes. Este procedimento será utilizado para a análise comparativa entre os dois ciclos de vida presentes nessa dissertação.

Segundo a NBR ISO 14040, “Em geral, é conveniente usar a informação desenvolvida em um estudo de ACV como parte de um processo de decisão muito mais abrangente, ou usá-la para compreender as soluções de compromissos amplas ou gerais”. Além do valor acadêmico, em função da aplicação de conceitos, ferramentas e pesquisas, este trabalho pode ser utilizado para auxiliar decisões estratégicas no campo da energia aplicada ao transporte. Os resultados obtidos oferecem subsídio de informações para que o poder público e a iniciativa privada possam avaliar onde podem buscar oportunidades de melhoria do uso da energia no setor de transporte rodoviário.

1.2. HIPÓTESE E PREMISSAS DA PESQUISA

A hipótese que será verificada é: considerando o ciclo de vida das fontes de energia, o uso de GN em usinas termelétricas para a produção de energia elétrica para uma frota de automóveis elétricos a bateria apresenta maior eficiência energética e menor consumo de energia do que a utilização em prática atualmente, que é a do uso de gás natural comprimido em motores de combustão interna (MCI).

Premissas:

- Existe a possibilidade de se dispor de frota de automóveis elétricos no Brasil no curto prazo;
- Existem recursos técnicos e econômicos para a construção e operação de usinas termelétricas e esta é uma das formas de produção de energia elétrica que podem proporcionar uma desejável diversificação e ampliação da matriz energética do país;
- A indústria do Petróleo e Gás encontra-se no Brasil em estágio maduro, de forma que a eficiência energética do processo de exploração e produção atual é semelhante à refletida nas análises feitas para se calcular esta eficiência com base de dados entre 1999 e 2003,
- A oferta de gás natural, no Brasil, é estável (fornecimento regular) e livre de riscos (fatores políticos);
- Os veículos elétricos híbridos *plug in* têm o papel de uma tecnologia intermediária (de transição) entre a tecnologia da frota brasileira de veículos leves atual (motores de combustão interna) e futura (prevalência dos VEB);
- Os veículos elétricos a bateria (VEB) irão participar gradativamente das vendas mundiais de veículos leves a partir de 2010;

1.3. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo é o ciclo de vida de duas fontes de energia para uso em transportes: o gás natural comprimido utilizado em veículos com motores de combustão interna e a energia termelétrica gerada a partir do GN utilizada em veículos com propulsão elétrica.

1.4. OBJETIVO DO ESTUDO

Este estudo tem como objetivo estabelecer uma análise comparativa, considerando a eficiência energética e o consumo de energia, entre o ciclo de vida do GNC, disponível no país, e o ciclo de vida da energia termelétrica produzida a partir de termelétricas a GN e utilizada em veículos elétricos a bateria.

Em função da complexidade do estudo, é necessário traçar alguns objetivos secundários:

- Estabelecer o ciclo de vida do GNC, mapeando toda a cadeia, desde a produção, tratamento, transporte, distribuição, até seu uso final em veículos com motores de combustão interna.
- Seguindo a mesma lógica, estabelecer o ciclo de vida da energia termelétrica, onde o gás natural produzido é direcionado para unidades de geração termelétricas, onde é produzida energia elétrica que deverá ser transportada pela rede de transmissão e distribuição elétrica e disponibilizada para o abastecimento de veículos a propulsão elétrica (veículo elétrico a bateria).
- A partir de D'AGOSTO (2004), obtêm-se um procedimento de inventário de ciclo de vida do gás natural comprimido, onde são definidos macro, meso e micro estágios que estabelecem níveis de detalhamento dos estágios e processos do modelo de ciclo de vida estudado. A partir da estrutura já existente em D'AGOSTO (2004), serão empreendidos esforços a fim de atualizá-la e aprimorá-la.

- No uso final dos ciclos de vida, reside a tecnologia automotiva. Portanto, será elaborada a conceituação e comparação entre as tecnologias de automóveis que utilizam MCI a gás natural e os veículos elétricos a bateria.

Esta análise comparativa entre ciclos de vida de fontes energéticas para transportes pode trazer informações que ajudem a traçar as futuras políticas energéticas no setor. O cumprimento do objetivo estipulado verifica qual é o melhor ciclo de vida em termos de eficiência energética associada ao aproveitamento da matéria-prima fóssil “gás natural”. Sendo assim, parte do público-alvo desta dissertação são os tomadores de decisões relativas às estratégias e políticas do setor energético, as autoridades da área de transportes, assim como a indústria de automóveis em geral e qualquer outra entidade que participe nos estágios dos ciclos de vida estudados. Ao público acadêmico, esta dissertação é mais uma contribuição em estudos de ACV para fontes energéticas associadas a transporte, e pode servir de referência para o aprofundamento deste ou elaboração de demais estudos.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente capítulo apresenta a introdução da dissertação, a justificativa do trabalho, as hipóteses e premissas, objeto de estudo, objetivo do estudo e a descrição da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo consiste numa revisão bibliográfica (nacional e internacional) e documental realizada tendo como foco a cadeia de suprimento do gás natural desde seu reservatório até o abastecimento de veículos a GNC nos postos de combustíveis.

A cadeia de suprimento do gás natural para geração de energia termelétrica será apresentada no Capítulo 3 a partir de revisão bibliográfica. A cadeia será descrita desde os reservatórios gasíferos até a disponibilidade da energia elétrica na rede de distribuição de eletricidade para o carregamento dos veículos elétricos a bateria.

O quarto capítulo apresentará o uso final do GNC em motores de combustão interna e da energia elétrica em veículos elétricos movidos a bateria. Também é apresentada a

descrição destas tecnologias e seus avanços tecnológicos em âmbito nacional e internacional a partir de pesquisa bibliográfica e documental.

O capítulo cinco é destinado à apresentação e aos esclarecimentos acerca do procedimento sugerido por D'AGOSTO (2004), que será aplicado no capítulo 6.

A aplicação procedimento será explorada no capítulo 6, onde serão elaborados os inventários de ciclo de vida para as fontes de energias propostas a partir de dados e informações levantados em campo para a cidade do Rio de Janeiro. Este capítulo traz a análise comparativa resultante da interpretação dos inventários dos ciclos de vida.

O capítulo 7 envolve considerações finais em torno da dissertação, incluindo a verificação do alcance do objetivo maior deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros sobre mesmo tema.

Capítulo 2 - O gás natural comprimido para uso automotivo

2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta inicialmente conceitos selecionados sobre o gás natural. Em seguida é estabelecida a contextualização desta fonte de energia no mundo e no Brasil. Após a contextualização, é feita a descrição da cadeia de suprimentos do GNC (gás natural comprimido), desde a produção da matéria-prima até sua distribuição para postos de abastecimento, onde ocorre o processo de abastecimento do veículo.

2.2. O GÁS NATURAL

O gás natural (GN) é uma fonte primária de energia encontrada no estado gasoso, composto basicamente pelos gases metano e etano, considerados hidrocarbonetos³ leves (pouca quantidade de carbono). Sua massa específica varia entre 0,55 e 0,70 kg/m³ sendo menor que a do ar (1,29 kg/m³), o que em termos de segurança pode ser um aspecto positivo, pois em caso de vazamentos o GN se dispersa rapidamente na atmosfera.

Segundo a definição da ANP (2009b), o gás natural é “todo hidrocarboneto ou mistura de hidrocarbonetos que permaneça em estado gasoso nas condições atmosféricas normais, extraído diretamente a partir de reservatórios petrolíferos ou gasíferos”. Este composto orgânico encontrado em bacias sedimentares terrestres (*onshore*) e marítimas (*offshore*) é proveniente da decomposição de materiais fósseis ao longo de milhares de anos. Quando num determinado reservatório o gás natural não é o principal energético, mas sim o óleo cru, chama-se “gás associado”. Nos reservatórios onde prevalece a presença do gás livre ou em solução ao óleo, de forma que o gás é o principal elemento energético do reservatório, o gás é do tipo “não-associado”.

O GN pode ser visto como um combustível “limpo” diante dos outros combustíveis fósseis (gasolina, carvão, diesel *etc.*), pois sua combustão possui baixos teores de contaminantes como dióxido de carbono e compostos de enxofre. Sob o ponto de vista

³ “Os hidrocarbonetos são compostos orgânicos constituídos por átomos de carbono e hidrogênio...” (VAZ *et al.*, 2008).

econômico, uma vantagem é seu alto poder calorífico superior⁴ que se encontra entre 8.000 e 10.000 kcal/m³ (PETROBRAS, 2009).

Esta fonte primária de energia possui caráter polivalente, sendo utilizada em diversos setores da economia como industrial, comercial, residencial, transportes e de geração de energia. No setor de transportes, o gás natural é usado na forma comprimida como combustível para o modo rodoviário, em veículos equipados com motores de combustão interna, com potencial de oferecer menores custos operacionais e menores emissões de poluentes atmosféricos locais⁵ quando comparado à queima de gasolina, álcool ou diesel (VAZ *et al.*, 2008).

Mantendo a atual relação entre volume de reservas provadas e demanda de GN, o mundo contaria ainda com cerca de 65 anos até se esgotarem as reservas provadas (EPE, 2007, BP *Statistical*, 2006 e WEO, 2006). Entretanto, diversas variáveis podem influenciar este horizonte de tempo: novas descobertas de reservatórios gasíferos, aumento da eficiência energética dos equipamentos que envolvem suas aplicações, desenvolvimento de tecnologias alternativas ao GN, oscilações no preço de mercado do GN e crescimento populacional, entre outros.

2.3. USO DO GNC NO MUNDO

Segundo D'AGOSTO (2004), os motores de combustão interna a gás foram inicialmente utilizados na Itália, por volta de 1930. No entanto, em função do desenvolvimento e da alta competitividade por parte do mercado de gasolina e diesel, o mercado de GN não se fortaleceu nesta época, permanecendo inexplorado por um longo período. A partir da década de 1970, ocorreram sucessivas crises do petróleo, com elevados aumentos em seu preço internacional, desestabilizando as economias ao redor do mundo. Isso contribuiu para estimular reflexões sobre a questão do uso exclusivo do óleo diesel e da gasolina no setor de transportes. O gás natural passou a ser visto como uma alternativa viável de combustível em setores como o de transporte rodoviário. Na década de 1970 o transporte rodoviário já utilizava amplamente os motores de combustão interna, sendo seus principais combustíveis a gasolina, o álcool (no Brasil) ou o óleo diesel. Entretanto esses motores poderiam ser adaptados para o uso de gás natural comprimido. Além da forma comprimida, existe outra maneira de usar o gás

⁴ Poder Calorífico Superior: é a “quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão 8 completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante.” (VAZ *et al.*, 2008).

⁵ Poluentes atmosféricos locais: óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), material particulado (MP) e hidrocarbonetos não queimados (HC).

natural no setor de transportes, que é transformando-o num combustível sintético com propriedades como as do óleo diesel. Levando-se em consideração aspectos ambientais, é uma tecnologia competitiva, mas que ainda não alcançou estágio comercial (EPE, 2007).

No mundo, o setor de transportes é responsável por consumir 26% do total de energia gerada (IEA, 2008b). Este setor se caracteriza por usar combustíveis fósseis, que representam 94,5% da energia consumida no setor, sendo que desse volume 3,2% é representado pelo gás natural (IEA, 2008a). O consumo mundial de gás natural em transportes aumentou nas últimas décadas, principalmente a partir do início da década de 90. Atualmente, 5,8% do GN mundialmente produzido são utilizados em transportes (IEA, 2008a). Uma das razões para o fortalecimento do uso do GN em transportes é, por muitas vezes, possuir relação custo-benefício mais competitiva (diante da gasolina e do álcool hidratado), além de ser menos prejudicial ao meio-ambiente do que os demais combustíveis derivados do petróleo (em termos de emissões atmosféricas locais).

O Brasil ocupa o terceiro lugar em infra-estrutura voltada para o consumo de GNC em relação aos outros países (tabela 1). A distribuição do GN é feita para 1.768 postos de abastecimento em todo o país.

Tabela 1. Estimativa do número de postos de abastecimento em outubro de 2009

País	Postos de Abastecimento
Paquistão	2.600
Argentina	1.832
Brasil	1.768
China	1.336
Irã	928
Estados Unidos	816
Alemanha	804
Itália	700
Índia	500
Colômbia	458

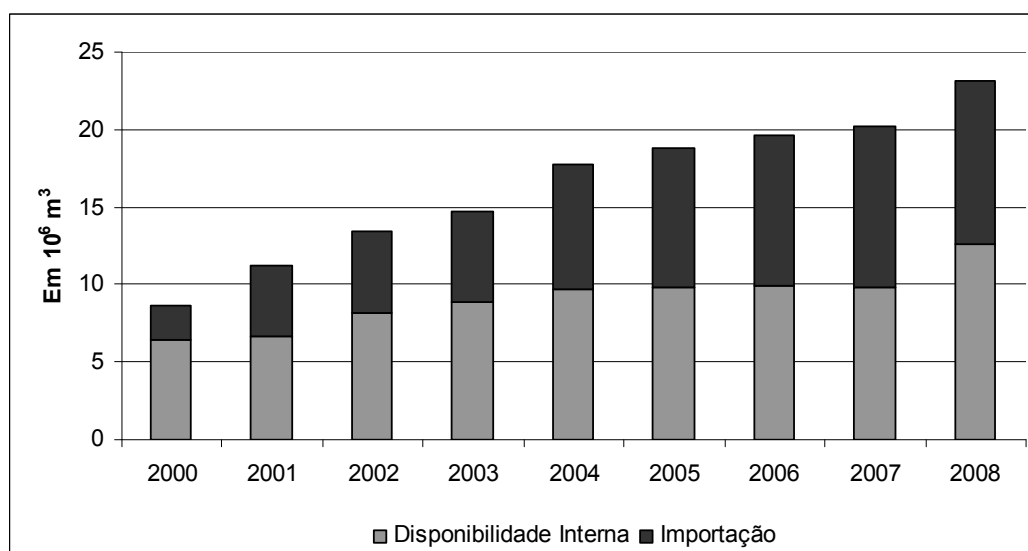
Fonte: FOLHA, 2009a

2.4. USO DO GNC NO BRASIL

Em função das crescentes buscas por novas propostas de suprimento de energia, o gás natural vem assumindo um papel cada vez mais expressivo no que diz respeito à oferta de energia no mundo e também no Brasil. De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2008 (BEN, 2008), que utiliza a base de dados do ano 2007, o gás natural participou com 9,3% na oferta de energia primária no país. Segundo as projeções do plano nacional energético (EPE, 2007), esta participação poderá subir para 14% em 2010 e deverá chegar a 18% em 2030.

A oferta de gás natural no Brasil é composta por duas parcelas: a disponibilidade interna⁶ e a importação. A oferta de gás natural no país tem crescido em média 9,6% ao ano, considerando o período entre 2002 e 2007. Neste mesmo período, a média anual de crescimento da importação ficou em torno de 12,7%, enquanto a disponibilidade interna aumentou em 7,9% ao ano.

Entre os anos de 2007 e 2008 é possível observar um acréscimo de 14% da oferta de GN, tendo em vista que enquanto a parcela referente à disponibilidade interna cresceu 28,4%, a importação obteve modesto acréscimo de 1,8% (figura 2).



Fonte: ANP (2009a)

Figura 2. Oferta de gás: disponibilidade interna e importação.

⁶ A parcela chamada disponível para comercialização a partir da produção nacional é a produção de GN diminuída do volume reinjetado nos reservatórios, da queima e da perda de GN que ocorrem nas plataformas de produção e do volume de GN consumido na atividade de produção de óleo cru e gás (ANP, 2009b).

O expressivo acréscimo na disponibilidade interna vai ao encontro do aumento da produção nacional de gás natural em reservas marítimas situadas na Bahia, no Espírito Santo e no Rio de Janeiro, como pode ser observado na tabela 2. O incremento que estes estados proporcionaram no volume produzido em relação a 2007 foi de 18,1%.

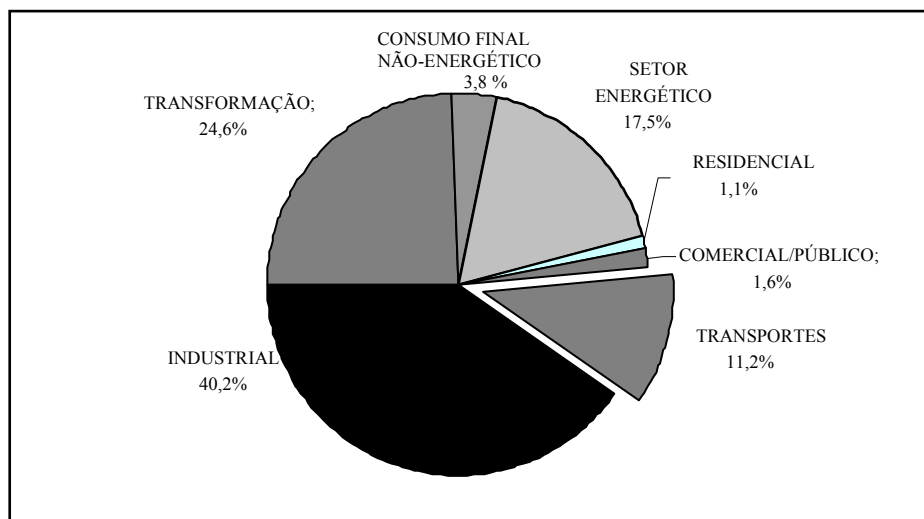
Tabela 2. Produção de gás natural por estado (10^3 m^3)

GÁS NATURAL	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
AMAZONAS	2.427.330	2.743.183	2.992.558	3.620.760	3.567.205	3.376.362	3.546.111	3.732.624
CEARÁ	92.967	110.241	100.129	126.091	111.111	99.384	78.017	66.330
R. G. NORTE	1.197.658	1.360.293	1.268.904	1.365.579	1.316.530	1.180.652	1.078.922	927.575
ALAGOAS	762.922	781.756	917.926	1.187.164	1.168.654	1.022.739	906.358	813.957
SERGIPE	811.862	801.447	732.513	677.426	617.743	609.374	547.060	857.779
BAHIA	1.966.551	2.016.820	2.165.873	2.256.608	1.984.287	1.894.322	2.646.291	3.364.942
ESPIRITO STO.	388.948	421.496	509.380	509.828	519.063	909.688	965.365	2.802.138
R. DE JANEIRO	5.968.327	6.886.344	6.660.153	6.779.078	7.967.183	8.217.676	8.025.094	8.763.318
SÃO PAULO	343.979	394.186	388.231	383.399	379.713	357.010	324.103	242.054
PARANÁ	38.254	9.387	56.397	65.223	67.711	38.954	34.330	21.935
TOTAL	13.998.79	15.525.15	15.792.06	16.971.15	17.699.20	17.706.16	18.151.65	21.592.65

Fonte: ANP (2009a)

Segundo o Plano de Negócios da Petrobras 2009-2013 (PNP, 2009), em 2009, cinco novos projetos de produção de gás natural seriam operados, ampliando a capacidade de produção em 43% (a informação se os projetos foram executados não foi confirmada). Estes projetos estão relacionados com as seguintes bacias: Urucu, Camarupim, Canapu, Lagosta e ampliação de Manati. Neste mesmo documento é possível verificar outros novos projetos nos anos subsequentes, dentre eles destaca-se a exploração da camada pré-sal, o que gera expectativa no aumento da oferta de GN a partir da disponibilidade interna.

O gás ofertado é consumido em diversos setores da economia (figura 3). O setor de transportes foi responsável por consumir 11,2% do gás natural disponível em 2007, tendo sido integralmente aplicado no modo rodoviário (BEN, 2008).



Fonte: BEN (2008)

Figura 3. Participação do setor de transportes no consumo de GN em 2007

2.5. CADEIA DE SUPRIMENTO DO GNC

Este item aborda o funcionamento da cadeia de suprimentos para a aplicação do GNC para fins automotivos. Tal cadeia pode ser definida como o conjunto de atividades através das quais elementos interagem para que a matéria-prima (o gás natural encontrado em bacias sedimentares no subsolo) seja identificada, extraída, processada e distribuída com a finalidade de abastecer a demanda por GNC de uma região. Este item detalha e descreve as etapas que compõem toda esta cadeia de suprimentos.

O Brasil conta com 76% de suas reservas de gás associadas ao petróleo (BNDES, 2006). Em relação ao total das reservas provadas de gás natural do país, 80,2% encontra-se situado no mar, enquanto o restante está situado em subsolo terrestre (ANP, 2009a). A expressividade desses números influenciou o escopo da análise dos ciclos de vida (capítulo 6), de forma que será considerada e descrita a cadeia de suprimentos do gás natural associado, proveniente de reservas marítimas.

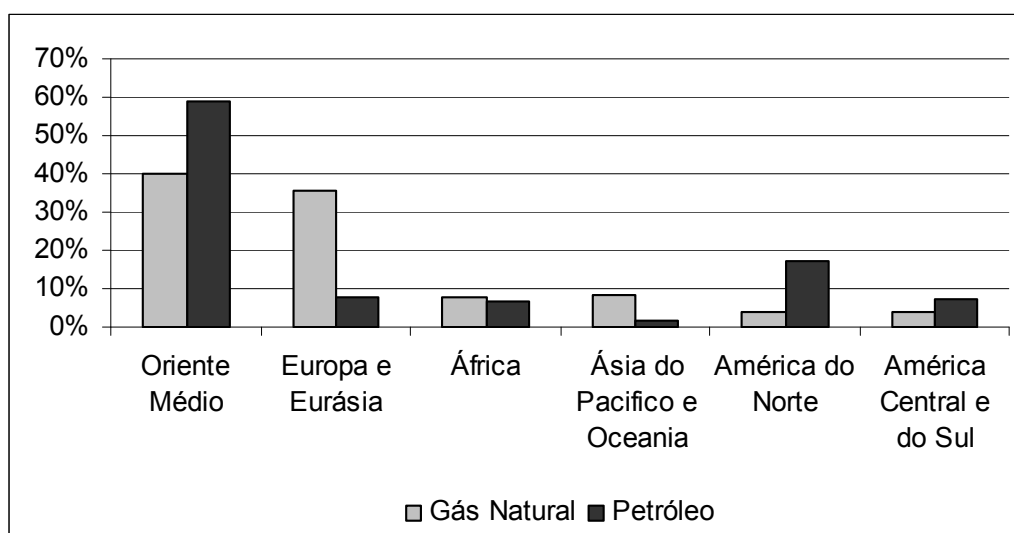
2.5.1. Prospeção e Perfuração Exploratória

A atividade de prospecção é onde ocorre a busca pelas localizações de reservatórios de gás natural. Nesta etapa, as pesquisas analisam diversos fatores que possam indicar uma

alta probabilidade de existência de depósitos de hidrocarbonetos. A incerteza na recuperação de gás natural num reservatório classifica uma reserva como provada (baixo grau de incerteza), provável (incerteza maior do que a provada) ou possível (alto grau de incerteza) (ANP, 2009b).

A distribuição geográfica dos reservatórios de petróleo e gás pode ser observada nas figuras 4 e 5. Elas indicam que tanto no mundo como no Brasil, as reservas de gás estão distribuídas de forma mais homogênea do que as de petróleo.

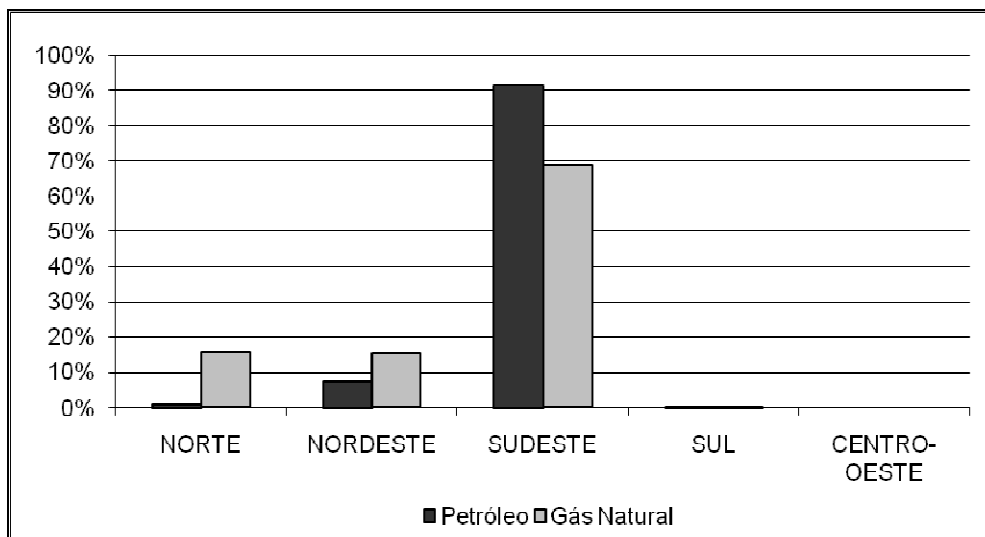
No contexto mundial, o Oriente Médio detém quase 60% das reservas provadas de petróleo bruto e 40% das de gás natural. Enquanto isso, a Europa e Eurásia apesar de deterem cerca de 8% das reservas de petróleo bruto, possuem mais de 35% das reservas provadas de gás natural.



Fonte: BP Statistics (2006) e WEO (2006)

Figura 4. Distribuição de reservas provadas de petróleo e gás no mundo

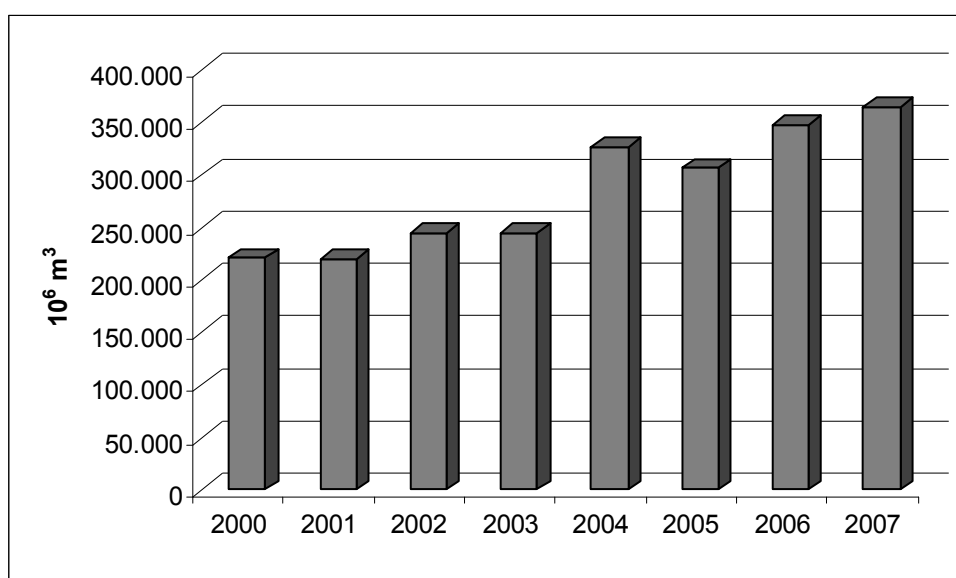
No Brasil, apesar de 91,4% das reservas provadas de petróleo estarem concentradas na região Sudeste, esta mesma região possui 68,8% das de gás natural. As regiões Norte e Nordeste não possuem mais do que 8,4% das reservas de petróleo, porém detêm mais de 30% das reservas provadas de GN.



Fonte: ANP (2008)

Figura 5. Reservas provadas de petróleo e gás no Brasil em 2007

A figura 6 apresenta o crescimento das reservas provadas de gás natural no Brasil, onde é possível notar aumentos expressivos entre o ano de 2000 e 2007.



Fonte: BEN (2008)

Figura 6. Reservas provadas de gás natural no Brasil até dezembro de 2007

Os estudos de prospecção levam à escolha de locais para a perfuração de poços exploratórios, que possibilitarão confirmar a existência de depósitos de hidrocarbonetos. Esses poços viabilizam uma avaliação técnica do reservatório analisado, permitindo o mapeamento da jazida, que traz informações como, por exemplo, estimativas das

dimensões (delimitação) e das quantidades de hidrocarbonetos existentes na jazida identificada.

2.5.2. Perfuração de Desenvolvimento

A avaliação técnica mencionada na etapa anterior considera o estudo da viabilidade técnica e econômica de uma descoberta. No caso da exploração ser considerada viável, é iniciada a fase de desenvolvimento da reserva a partir da perfuração dos poços de desenvolvimento. Esta perfuração é feita através de sondas e outros equipamentos especiais que permitem perfurar rochas das camadas do subsolo. Ao tempo em que o poço é perfurado, é feita sua “completação” através da colocação de tubulações de aço, revestimentos de cimento e outros equipamentos específicos como a “árvore de natal”⁷ e as “linhas de produção”⁸, que viabilizarão a produção segura do GN contido no reservatório (VAZ *et al.*, 2008).

2.5.3. Produção do GN: Elevação, Separação e Processamento Primário

No processo de elevação, caso a pressão do reservatório não seja alta suficiente para que o fluido alcance a superfície de forma natural, são utilizados meios artificiais para que isso ocorra. Para que o gás alcance a plataforma de produção pode-se utilizar até mesmo o bombeio de água para dentro do reservatório, aumentando a pressão interna no poço (VAZ *et al.*, 2008).

O fluido direcionado para a plataforma de produção deve chegar até a “planta de processos”, onde estão os vasos separadores capazes de separar a água, o óleo, areia e outras substâncias, do gás produzido (D’AGOSTO, 2004).

Depois de separado, o gás pode ser utilizado de seis formas distintas, sendo três destas ainda na produção de petróleo e gás. Na produção, o gás pode ser utilizado como gás de elevação. Esta técnica (*gas lift*) consiste em misturar o gás ao petróleo líquido produzido, diminuindo a densidade do fluido e proporcionando aumento da vazão. Ainda na produção, pode ser utilizada a técnica de recuperação secundária, onde o gás é injetado dentro do reservatório, aumentando a pressão interna da jazida, acarretando ganhos de vazão na produção de petróleo (VAZ *et al.*, 2008). O gás também pode ser

⁷ Árvore de Natal: equipamento de interface entre o poço produtor e as linhas de produção.

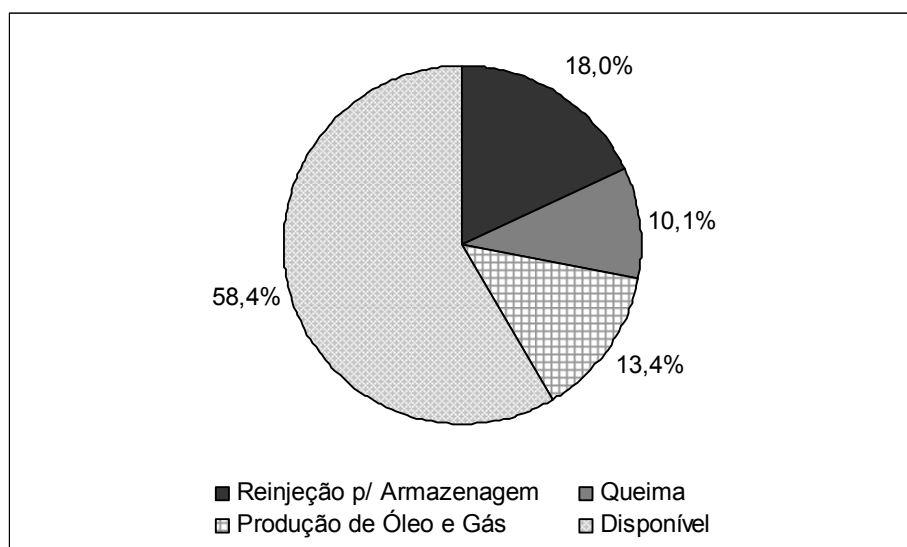
⁸ Linhas de Produção: dutos rígidos ou flexíveis, responsáveis por transferir os fluidos produzidos da árvore de natal até a plataforma de produção.

usado em equipamentos de geração de energia elétrica ou térmica. Em 2008, a parcela do gás produzido utilizada na produção de óleo e gás foi de 13,4% (figura 7).

Outra possibilidade é reinjetar o gás no reservatório para estocagem (ou armazenamento). Dos 3,73 bilhões de metros cúbicos de gás produzidos em Urucu (AM) em 2008, 80% foi reinjetado no reservatório (ANP, 2008). Segundo VAZ *et al.* (2008), o gás produzido na Amazônia vinha sendo armazenado para posterior aproveitamento no mercado potencial de GN em Manaus. Este aproveitamento se tornou possível após o término da construção do gasoduto que liga Coari ao mercado consumidor de Manaus e mais sete municípios do estado do Amazonas (COARI, 2009). Este gasoduto, inaugurado no dia 26 de novembro de 2009, possui 661 km de extensão e capacidade de transporte de 4,1 milhões de m³/dia. Esta nova estrutura possibilitou modificar a matriz energética da região, pois 7 usinas termelétricas da região até então, só contavam com a opção do óleo diesel para geração de energia elétrica. Segundo Gabrielli, presidente da Petrobras na época deste estudo, essas usinas até setembro de 2010 serão adaptadas e passarão a utilizar o GN como combustível (COARI, 2009).

O gás também pode ser simplesmente queimado. A figura 7 mostra que mais de 10% da produção de gás natural no país em 2008 foi queimada, sem aproveitamento algum. O desperdício foi de 5,99 milhões de metros cúbicos diários (ANP, 2009a). A queima do gás está concentrada 70% no Rio de Janeiro, região responsável pela produção de 41% do gás brasileiro (ANP, 2009a). Segundo a ANP (2002), esse desperdício ocorre em função de alguns fatores que envolvem a política energética do país: estratégias de exploração que priorizam projetos voltados para a oferta dos derivados de petróleo; falta de determinação de níveis máximos de queima por parte da própria ANP e falta de logística adequada para uma maior capacidade de escoamento do gás até o mercado consumidor.

A parcela restante pode-se dizer que é o volume de gás disponibilizado no mercado a partir da produção nacional. Em 2008, 58,4% do gás produzido foi disponibilizado ao mercado interno (figura 7).



Fonte: ANP (2009a)

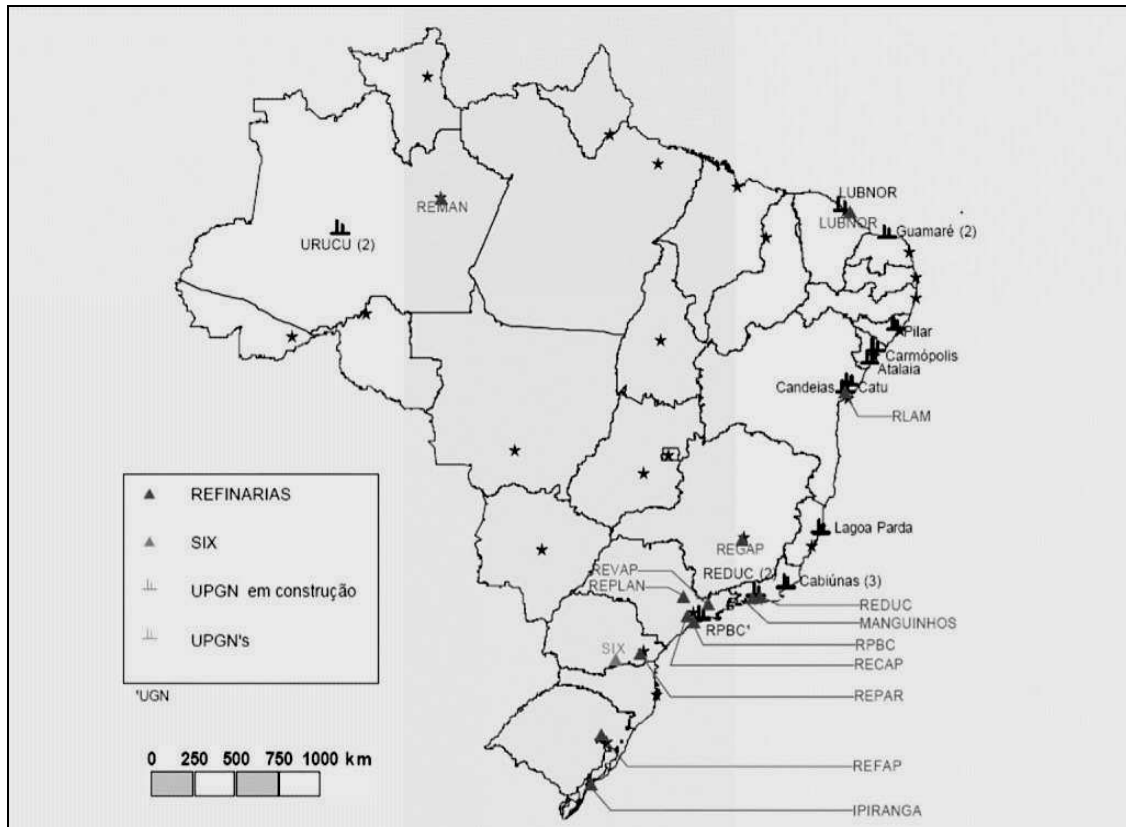
Figura 7. Direcionamento do gás natural produzido no Brasil em 2008

Muitas vezes a produção de gás ocorre em regiões distantes das unidades de processamento, o que faz com que seja necessário que passe por uma espécie de processamento primário para que a transferência do gás através dos gasodutos ocorra com segurança. O processamento primário é um conjunto de etapas (decantação, depuração, filtragem e adoçamento) que têm como objetivo controlar as presenças de água (vapor), compostos de enxofre, dióxido de carbono e outros produtos químicos. A presença de água pode acarretar a formação de hidratos capazes de obstruir os gasodutos, enquanto os ácidos contaminantes podem ocasionar corrosões dos equipamentos e comprometer a qualidade do gás. O gás é então direcionado para as estações de compressão para seguir em direção às unidades de processamento de gás natural, localizadas no continente. Este gás a ser transferido recebe o nome de “gás não-processado” ou “gás úmido”.

2.5.4. Transferência de GN

O processamento primário proveu as condições químicas necessárias para se transportar o gás por longas distâncias através dos gasodutos de transferência. A transferência é feita sob alta pressão, adquirida por meio de compressores localizados nas estações de produção e distribuídos ao longo desses gasodutos. Um exemplo de transferência é o gás produzido em reservas *off-shore* na Bacia de Campos, que é transportado através de gasodutos submarinos para as UPGN's localizadas em Cabiúnas (ES) e em Duque de

Caxias (RJ), no continente. As UPGNs se localizam geralmente próximas aos locais de produção de GN, no caso Brasil esta produção está mais concentrada em bacias marítimas. A figura 8 mostra a localização das UPGN's do país, podendo-se observar a grande concentração delas ao longo da costa.



Fonte: ANP (2009a)

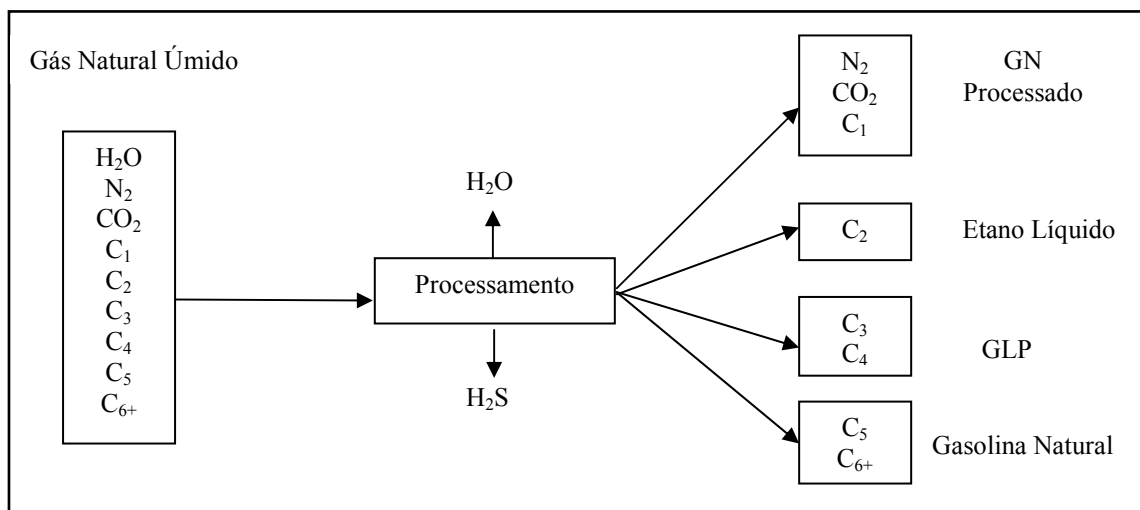
Figura 8. Mapa com localização das UPGN's

A definição dada pela ANP sobre transferência é: “movimentação de petróleo, derivados ou gás natural em meio ou percurso considerado de interesse específico e exclusivo do proprietário ou explorador das facilidades” (ANP, 2009b). Os gasodutos de transferência são então considerados um meio de transporte de interesse específico, pois não há outro objetivo senão fazer com que o gás contido neles alcance as UPGN's para ser processado.

2.5.5. Processamento de GN

Ao ser transferido para as UPGN's (unidades de processamento de gás natural), o gás é processado e fracionado de forma que são produzidos o gás liquefeito de petróleo (GLP,

ou gás de cozinha), a gasolina natural (C_5^+), o etano líquido (para fins petroquímicos) e o gás processado (figura 9). O gás processado nas UPGN's, também pode ser conhecido como “gás seco”, deve estar dentro das especificações de consumo final estabelecidas pela ANP através da Resolução nº16, de 17 de junho de 2008 (ANP, 2009a). Para fracionar seus componentes e cumprir esta norma o gás deve passar por diversas etapas como: dessulfurização (remoção de H_2S), desidratação, odorização entre outras.



Fonte: Vaz *et al.* (2008)

Figura 9. Resultado do processamento do gás natural na UPGN

A composição típica do gás processado está descrita na tabela 3, onde é possível compará-lo com a composição original encontrada no reservatório (gás associado).

Tabela 3. Composição típica gás associado e processado

Elementos (Vol.%)	Associado ¹	Processado ²
Metano (C1)	81,14	88,56
Etano (C2)	11,15	9,17
Propano (C3)	3,06	0,42
Butano (C4)	1,39	-
Pentano (C5)	0,72	-
Hexano ou maiores (C6 ⁺)	0,3	-
Nitrogênio (N ₂)	1,43	1,2
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,81	0,65

1-Gás associado típico de reservas localizadas na Bahia. 2-Gás processado na UPGN de Candeias, na Bahia

Fonte: VAZ *et al.* (2008) e D'AGOSTO (2004)

O gás processado já possui condições técnicas para ser comercializado, mas antes de ser distribuído efetivamente para consumo, pode demandar ainda grandes deslocamentos até as proximidades dos mercados regionais, como será visto no próximo item.

2.5.6. Transporte de GN

A atividade de transporte tem como objetivo movimentar o gás processado nas UPGN's até os pontos de entrega, chamados *city gates*, das distribuidoras regionais. Em algumas situações específicas, esta atividade se estende para o suprimento da demanda de termelétricas a gás natural (TRANSPETRO, 2009).

Vale observar que o gás natural importado é parte integrante desta etapa, pois gasodutos e demais infra-estruturas de transporte do GN proveniente de outros países também irão abastecer os pontos de entrega das distribuidoras. Desta forma se configura a já mencionada oferta de gás (item 2.3), que é a soma da disponibilidade interna e do volume importado.

A forma mais utilizada para o transporte de GN é através da rede de gasodutos, que transporta o gás à alta pressão provida pelos compressores das estações de compressão (VAZ *et al.*, 2008). As estações de compressão podem estar localizadas a cada 100 ou 150 km do duto e servem para elevar a pressão do gás de forma a suplementar as perdas de carga decorrentes do atrito entre o gás e as paredes do duto e das sinuosidades de traçado ao longo dos dutos (SALGADO, 2007). Este ciclo pode se repetir várias vezes, permitindo que este tipo de transporte possa atingir distâncias praticamente ilimitadas. Nos dutos (diâmetro normalmente entre 12" e 32") de transporte de longa distância, as pressões usuais podem atingir de 100 a 150 kg/cm² (SALGADO, 2007) logo após a estação de compressão, caindo ao longo do duto até cerca de 30 a 40 kg/cm², onde poderá haver uma outra estação de compressão (CTGAS, 2009) (TRANSPETRO, 2009). Por medidas de segurança, ao longo da linha são instaladas válvulas de bloqueio automático, que interrompem o fluxo de gás em caso de vazamento num trecho.

A decisão de se construir gasodutos passa por diversas análises técnicas, econômicas, ambientais e sociais. São levantadas alternativas (de traçados) e escolhe-se

preferencialmente aquela que proporciona menos impacto ambiental e social, levando-se em consideração os aspectos técnicos e econômicos.

Este tipo de infra-estrutura (gasodutos) é caracterizado por altos custos de implantação, baixos custos operacionais e de manutenção e altos ganhos de escala em termos de redução dos custos em função do grande volume (ou massa) transportado. Essas características podem favorecer a formação de monopólios naturais, fazendo com que haja necessidade de regulação que garanta a competitividade do mercado de combustíveis usados em transportes (BNDES, 2006). Em 06 de agosto de 1997, foi publicada a Lei nº 9.478 que acabou com o monopólio do transporte de gás natural por parte da União Federal, garantindo a livre concorrência no setor. No mesmo ano foi criada a ANP, responsável pela regulação da atividade de transporte de GN no país. Adicionalmente, no dia 4 de março de 2009, o Poder Legislativo aprovou a Lei nº 11.909 que, entre outros aspectos, institui normas sobre a atividade econômica de transporte, distribuição, armazenagem, importação e comercialização do gás natural. No caso do transporte, poderá ser feita licitação ou emitida uma autorização para que o empreendedor opere os gasodutos de transporte. Em caso de concessão precedida de licitação, a ANP é a responsável por promover o processo de licitação e a empresa ganhadora poderá explorar a operação por trinta anos. A lei dispõe sobre construção de novos gasodutos e admite até mesmo a utilização da Parceria Público Privada (PPP - instrumento de fomento econômico) para ampliação da malha.

Enquanto o Brasil possui 5,4 mil km de gasodutos de transportes, países de grandes dimensões como México, Argentina e EUA possuem respectivamente 9, 13 e 150 mil quilômetros de gasodutos em operação (BNDES, 2006). A figura 10 mostra que a infra-estrutura de gasodutos no Brasil ainda se encontra em desenvolvimento. Atualmente, a empresa Transpetro é a principal responsável pelo transporte de GN no país controlando 4,2 mil km dos gasodutos. Este controle é feito através de uma sofisticada estação de controle denominada Centro Nacional de Controle Operacional - CNCO, localizada no Rio de Janeiro (RJ).

O gasoduto GASENE liga os dois principais sistemas de gasodutos: a malha sudeste (1.453 km) e a malha nordeste (1.886 km). O GASDUC III é um trecho de gasoduto que se encontra em construção e transportará gás do Terminal de Cabiúnas (TECAB, em

O gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol) possui capacidade de transportar 30 milhões de metros cúbicos diários numa linha de 3.150 km que sai de Santa Cruz de La Sierra (Bolívia) e passa pelos estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A malha sudeste possui conexão com o Gasbol, ampliando o alcance do gás boliviano em território nacional.



Verifica-se alta concentração dos gasodutos nas capitais litorâneas nordestinas e poucas linhas que levem o gás para as cidades do interior. A maioria dos gasodutos que teria este papel ainda está em fase de avaliação. Um dos fatores que podem contribuir com a estabilização do mercado nacional de gás natural é a provisão de uma adequada rede de gasodutos capaz de abastecer os mercados consumidores potenciais nas diversas regiões do país.

Em situações específicas, onde não existe rede de gasodutos ou enfrenta-se dificuldade de transportar o GN através de gasodutos (como travessias em oceanos, regiões montanhosas, necessidade de atravessar territórios de diversos países, entre outras), pode-se adotar seu transporte no estado líquido (gás natural liquefeito – GNL) ou na forma comprimida em cilindros de alta pressão.

Na forma comprimida, o gás natural é acondicionado em cilindros de alta pressão através de compressores. Seu transporte é feito por meio de caminhões-feixe (viável apenas para pequenos volumes a curtas distâncias), barcas ou navios especiais (maiores volumes).

O transporte do gás natural liquefeito ocorre através de barcas, navios ou caminhões em reservatórios especiais chamados criogênicos, a uma temperatura de $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, o que proporciona uma redução no volume de cerca de 600 vezes (D'AGOSTO, 2004) se comparado ao volume inicial à temperatura ambiente. Este tipo de transporte demanda investimentos em unidades de liquefação na sua origem, bem como unidade regaseificação em seu local de destino. Esta forma de transporte vem sofrendo avanços mundiais (ANEEL, 2007) que refletem na redução de custos em toda sua cadeia (liquefação, transporte e regaseificação). O Japão é o país com mais sistemas de regaseificação de GNL, com 26 estações em operação (ZEUS, 2009). O Brasil diversificou seu sistema de suprimento de gás com um terminal de regaseificação que entrou em operação em janeiro de 2009, em Pecém (CE), cuja capacidade é de sete milhões de m^3/dia . Outro terminal foi instalado na Baía de Guanabara (ANEXO I), no Rio de Janeiro, com operação iniciada em março do mesmo ano e capacidade de regaseificar 14 milhões de m^3/dia . Ambos são terminais marítimos que necessitaram da instalação de gasodutos submarinos flexíveis até a costa para estabelecer conexão com a rede de gasodutos existente. Estes dois empreendimentos se trataram de medidas

estratégicas da PETROBRAS e do governo, cujos objetivos são atender a crescente demanda por GN e ampliar as possibilidades de oferta nas regiões onde foram instalados.

De forma geral, os transportes de GN em cilindros de alta pressão (na forma comprimida) e reservatórios criogênicos (na forma líqüefeita) constituem os chamados “gasodutos virtuais” e servem para complementar a rede de gasodutos, ampliando a acessibilidade por esta fonte de energia. Comparando esses dois sistemas (GNL e compressão), a implementação da estrutura para o transporte rodoviário de GNL envolve custos mais elevados, de forma que se torna viável para distâncias na ordem de 500 a 1.000 km, enquanto o transporte na forma comprimida leva vantagem para movimentações entre 100 e 150 km (BNDES, 2006).

Existe outra maneira de transporte do gás, porém ainda em fase de estudos econômicos e ambientais e de segurança: sob a forma de hidrato. O hidrato é uma estrutura sólida de mistura de hidrocarbonetos, água e gases que a temperaturas em torno de -15°C pode ser transportada em semi-reboques rodoviários e embarcações. É uma tecnologia promissora para a próxima década. Além de ser um mecanismo de transporte, é também dito como uma maneira de armazenamento do gás (CTGAS, 2009).

Segundo VAZ *et al.* (2008), a estocagem (ou armazenamento) do gás faz parte da estratégia das companhias de transporte e de distribuição de gás em todo mundo. É um recurso utilizado para adequar a oferta à demanda muitas vezes sazonal. Para isso, o gás é confinado comprimido em tanques, gasodutos e reservatórios naturais (cavernas de rochas ou minas subterrâneas).

2.5.7. Distribuição de GN

A última etapa a ser executada até que o GN chegue ao consumidor final é a de distribuição. Como foi visto no item anterior, até os pontos de entrega das distribuidoras a custódia do GN é do transportador, a partir deste ponto a responsabilidade passa a ser das empresas distribuidoras de gás. A distribuição do gás é feita por meio das redes de gasodutos a baixas pressões, de 5 a 8 bar (GASNET, 2009). Os diâmetros dessas tubulações são normalmente menores do que os da rede de transportes (que possuem

capacidade de suportar altas pressões de até 80 bar e diâmetro entre 6” e 32”, dependendo da vazão requerida).

No Brasil, apenas os estados de Tocantins, Acre e Roraima não possuem companhias de distribuição de gás natural. Os outros estados contam cada um com uma empresa de distribuição de gás, com exceção do Rio de Janeiro e Goiás que possuem duas distribuidoras cada um, e de São Paulo, que possui três companhias.

A rede de gasodutos de distribuição no Brasil tem cerca de 17.000 km de extensão (ABEGAS, 2009), distribuídas de acordo com a tabela 4. A região Sudeste possui 76,2% do total da extensão da rede de gasodutos de distribuição do país, distribuídos principalmente nos estados do Rio de Janeiro (28,9%) e de São Paulo (44,2%).

Tabela 4. Redes de gasodutos de distribuição em operação em 2008

REGIÃO	ESTADO	DISTRIBUIDORA	EXTENSÃO DA REDE (Km)	PERCENTUAL
NE	AL	ALGAS	239,3	1,4%
	SE	SERGAS	136,1	0,8%
	BA	BAHIAGÁS	560,2	3,3%
	PB	PBGAS	247,9	1,5%
	CE	CEGAS	265,1	1,6%
	RN	POTIGAS	280,6	1,6%
	PE	COPERGAS	413,9	2,4%
	PI	GASPISA	-	-
	MA	GASMAR	-	-
Total NE			2.143,0	12,6%
SE	MG	GASMIG	456,4	2,7%
	RJ	CEG	3.986,6	23,4%
	RJ	CEG RIO	854,7	5,0%
	ES	BR DISTRIBUIDORA	136,4	0,8%
	SP	GAS BRASILIANO	486,8	2,9%
	SP	GAS NATURAL SP SUL	1.267,1	7,4%
	SP	COMGAS	5.766,1	33,9%
Total SE			12.954,1	76,2%
N	AM	CIGAS	-	
	AP	GASAP	-	
	RO	RONGAS	-	
Total N			-	0,0%
CO	DF	CEBGAS	-	
	GO	GOIÁS GÁS	-	
	MS	MSGAS	151,8	0,9%
	MT	MTGAS	-	
Total CO			151,8	0,9%
S	PR	COMPAGAS	506,0	3,0%
	SC	SCGAS	778,4	4,6%
	RS	SULGAS	476,0	2,8%
Total S			1.760,4	10,3%
TOTAL Brasil			17.009,3	100,0%

Fonte: ABEGAS (2009)

Esta estrutura de distribuição de gás atende diversos setores da economia, entre eles, o de transporte rodoviário. Neste caso, os gasodutos de distribuição disponibilizam o gás para postos de abastecimentos de veículos.

A tabela 5 apresenta a localização dos postos de abastecimento por estado e seus respectivos volumes comercializados. É possível notar que onde há forte presença da

rede de gasodutos de distribuição (tabela 4), também estão as maiores demandas por GNC. Isso favorece a idéia do gás natural ser uma fonte de energia consumida localmente. Os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e Bahia possuem as maiores redes de gasodutos de distribuição e também detêm os maiores volumes de gás comercializados para o setor de transporte. Isso demonstra a atratividade pelo consumo deste combustível, que se torna competitivo diante seus concorrentes quando existe a infra-estrutura de gasodutos voltada para sua distribuição.

Tabela 5. Quantidade de postos de abastecimento de GNC e seus respectivos volumes médios comercializados por estado em 2008

REGIÃO	ESTADO	DISTRIBUIDORA	Postos de Abastecimento	10 ³	Vol.
NE	AL	ALGAS	36	108,3	1,8%
	SE	SERGAS	33	115,7	1,9%
	BA	BAHIAGÁS	68	252,9	4,2%
	PB	PBGAS	43	104,7	1,7%
	CE	CEGAS	81	194,8	3,2%
	RN	POTIGAS	65	184,1	3,0%
	PE	COPERGAS	69	184,1	3,0%
	PI	GASPISA	1	1,4	0,0%
	MA	GASMAR	-	-	0,0%
Total NE			396	1.146,0	18,9%
SE	MG	GASMIG	93	153,6	2,5%
	RJ	CEG	402	2.214,7	36,5%
	RJ	CEG RIO	85	464,4	7,7%
	ES	BR DISTRIBUIDORA	29	112,2	1,8%
	SP	GAS BRASILIANO	15	23,8	0,4%
	SP	GAS NATURAL SP	32	56,7	0,9%
	SP	COMGAS	439	1.172,3	19,3%
Total SE			1.095	4.197,7	69,2%
N	AM	CIGAS	1	2,5	0,0%
	AP	GASAP	-	-	0,0%
	RO	RONGAS	-	-	0,0%
Total N			1	2,5	0,0%
CO	DF	CEBGAS	2	7,5	0,1%
	GO	GOIÁS GÁS	1	3,1	0,1%
	MS	MSGAS	11	28,0	0,5%
	MT	MTGAS	6	6,7	0,1%
Total CO			20	45,2	0,7%
S	PR	COMPAGAS	27	80,4	1,3%
	SC	SCGAS	107	363,5	6,0%
	RS	SULGAS	60	231,8	3,8%
Total S			194	675,7	11,1%
TOTAL Brasil			1.706	6.067,0	100,0

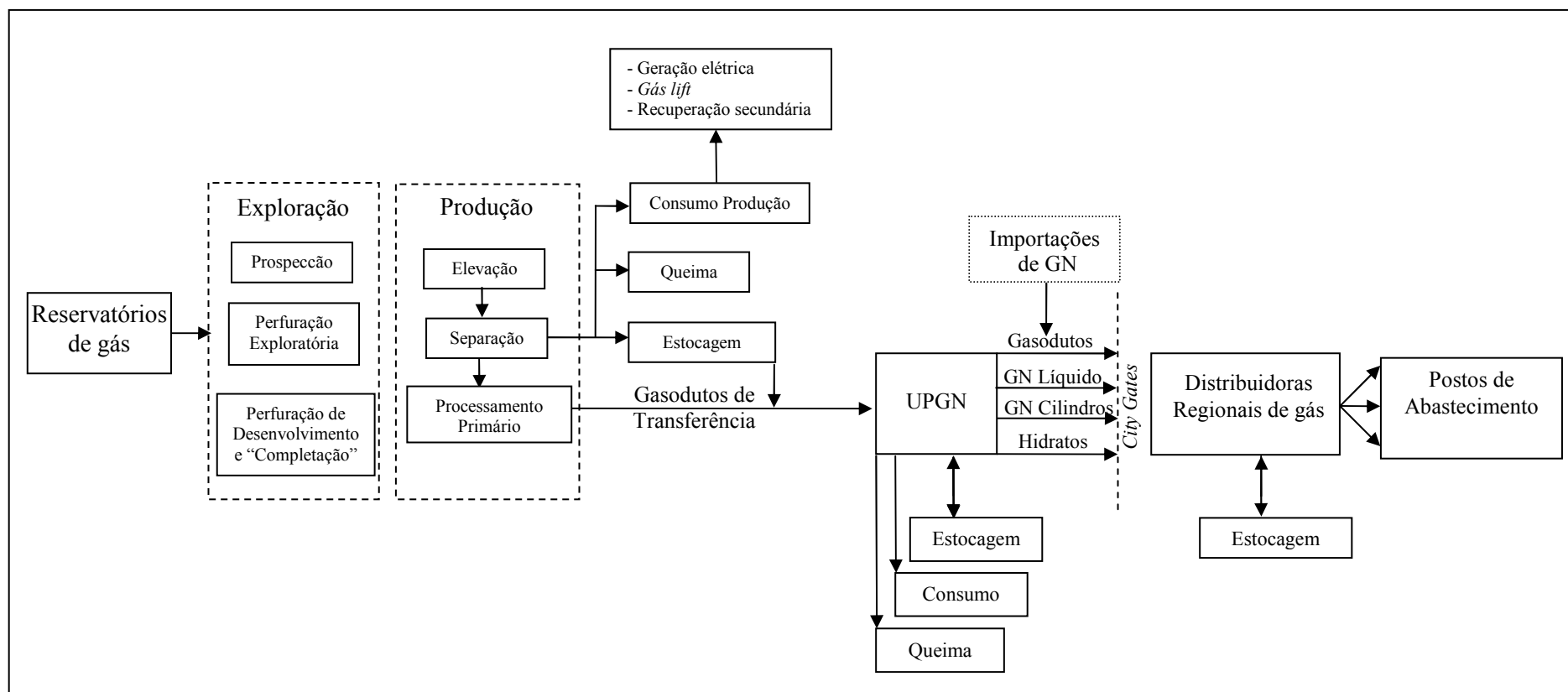
Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da GASNET (2009) e ABEGAS (2009)

Em 2009, foram contabilizados 1.768 postos de abastecimento em todo o país. O gás chega nestes estabelecimentos através dos gasodutos de distribuição, a uma pressão que pode variar entre 5,1 e 10,3 kg/cm², equivalentes a 5 e 10 atm (D'AGOSTO, 2004). Para ser usado nos motores de combustão interna, o gás deve ser comprimido a pressões de até 250 atm.

Ao chegar nos postos, o gás é medido, filtrado e expandido antes de passar pelos compressores. Nos compressores o gás é admitido e comprimido num processo de múltiplos estágios até alcançar a pressão necessária para o abastecimento (cerca de 250 atm). Segundo GASNET (2009), é comum que em postos de serviço seja necessária uma vazão entre 600 a 1.000 m³/h de GNC. Nos veículos, o gás é armazenado em cilindros que são abastecidos através de dispositivos chamados *dispensers* (D'AGOSTO, 2004). Os *dispensers* estão localizados nas baias de carregamento distribuídas em diversos pontos no posto.

A figura 12 apresenta a cadeia de suprimento do GNC a partir das etapas apresentadas neste capítulo. O fluxograma apresentado mostra de forma estruturada como funciona a cadeia de suprimentos do gás natural veicular comprimido em suas mais diversas possibilidades. Em capítulos posteriores serão apresentadas estruturas mais simples e específicas que foram derivadas desta cadeia mais complexa (figura 11).

Uma vez estudada a cadeia de suprimentos do GNC, o capítulo seguinte aborda a cadeia de suprimentos da energia termelétrica a gás para compor a fonte de energia associada ao uso do veículo elétrico à bateria.



Fonte: Elaboração própria, baseado em D'AGOSTO (2004)

Figura 11. Fluxograma da cadeia de suprimento do gás natural comprimido

Capítulo 3 - Energia elétrica produzida a partir de termelétricas a gás natural

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

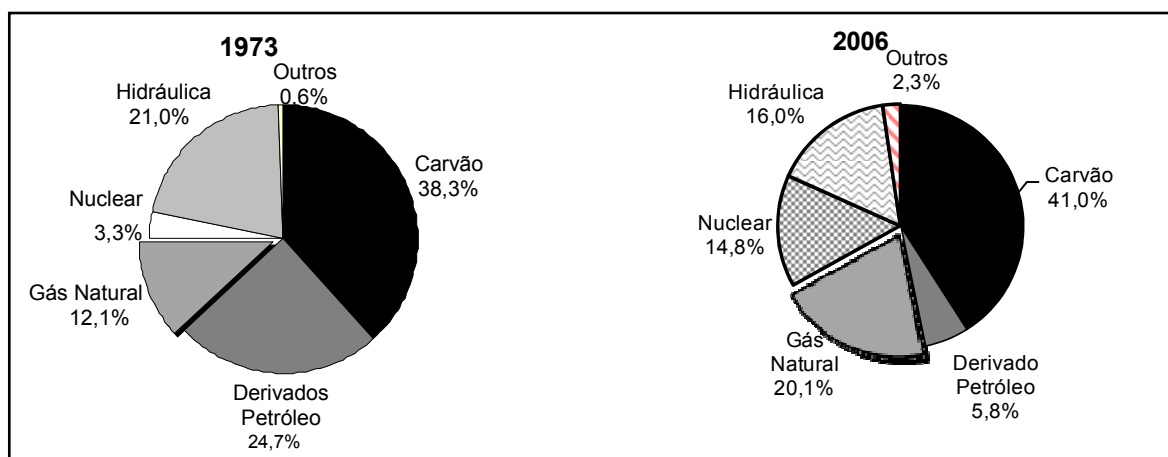
O gás natural é utilizado no setor de geração de energia elétrica. O presente capítulo expõe sobre como este tipo de geração de energia vem participando da matriz energética mundial e nacional. Após esta exposição, o capítulo apresenta e descreve a cadeia de suprimento da energia termelétrica a gás, detalhando seu funcionamento e suas tecnologias.

3.2. ENERGIA TERMELÉTRICA NO MUNDO

Na década de 1980, os estudos estavam voltados para termelétricas a carvão e a energia nuclear. No entanto, em função da preocupação com as consequências da intensificação do efeito estufa e da poluição ambiental, as tecnologias de geração termelétrica a gás também se desenvolveram. Algumas vantagens faziam do gás natural uma fonte de energia competitiva diante de seus substitutos na produção de eletricidade: suas emissões de CO₂ eram 45% menores do que as do carvão, sua queima apresentava menores emissões de fuligem e de material particulado (EPE, 2007).

Dados do documento *Key Statistics 2008*, elaborado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2008a), evidenciam o aumento da participação do gás natural na produção de energia elétrica mundial. A figura 12, mostra que o petróleo ao longo das últimas três décadas vem perdendo participação na matriz de geração de energia elétrica (diminuindo de 24,7% em 1973, para 5,8% em 2006). Enquanto isso, aumentos expressivos ocorreram no uso do gás natural: saindo de 12,1% em 1973, para 20,1% em 2006, acompanhado pela energia nuclear que ao longo deste mesmo período passou de modestos 3,3% para 14,8%. Verifica-se também que em pouco mais de 30 anos (de 1973 a 2006), a produção mundial de eletricidade triplicou, passando de 6.116 TWh para 18.930 TWh. Esse aumento da produção faz com que os aumentos de participação percentuais do GN na matriz elétrica neste período sejam ainda mais representativos

quando transformados em valores absolutos. Os Estados Unidos, Rússia e Japão lideram a produção de eletricidade a partir do gás natural, pois em 2007, juntos, foram capazes de gerar mais de 40% da energia termelétrica mundial a partir desta fonte de energia (IEA, 2008a).



Fonte: IEA (2008a)

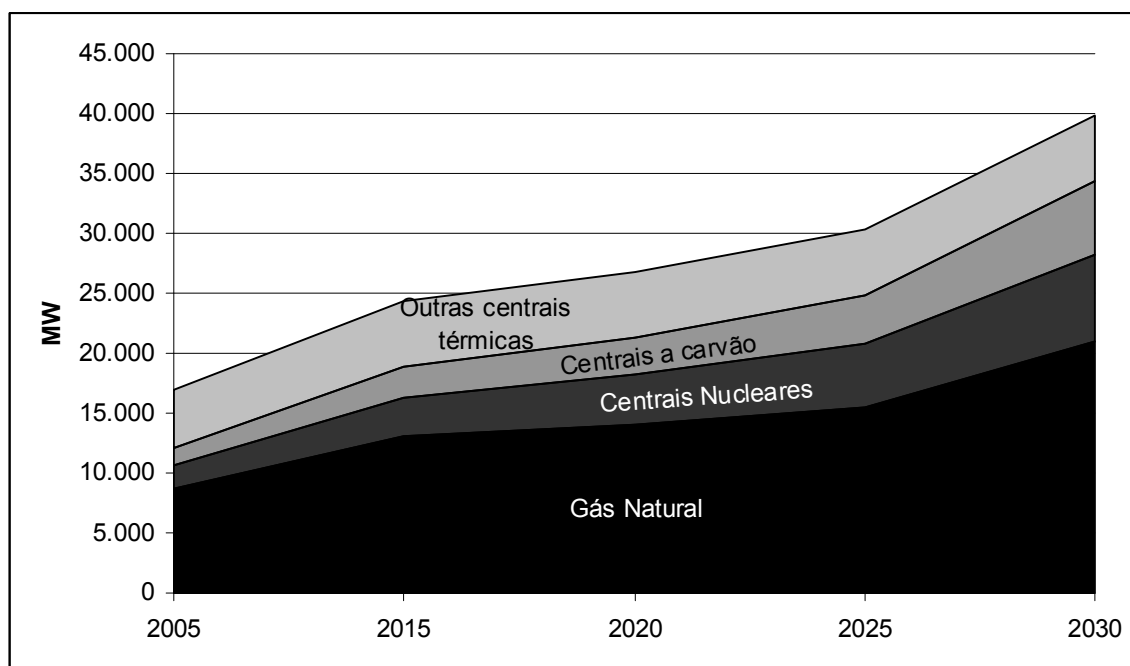
Figura 12. Matriz de geração de energia elétrica mundial 1973 e 2006

Sob a ótica da eficiência energética, o aumento do uso do gás natural para geração de energia e diminuição do uso do carvão e derivados de petróleo é vantajoso. No mundo, a produção de energia termelétrica a partir do carvão obteve média de eficiência de 34% diante da média de 40% obtida pelo GN (IEA, 2008c). Na produção de energia elétrica a partir de térmicas a gás natural, o Brasil obteve média de eficiência energética de 45% no mesmo período, enquanto a média mundial foi de 40%, conforme mencionado.

3.3. ENERGIA TERMELÉTRICA NO BRASIL

O Brasil é um país que possui grande potencial hidrelétrico em função de suas bacias hidrográficas. Desde a década de 1970, a capacidade hidrelétrica instalada é bem superior à termelétrica no país. Em 2007, as hidrelétricas foram responsáveis pela oferta de 72,6% do total de 444,6TWh de energia elétrica gerada no país, mostrando-se assim que permanecem como base da produção nacional de eletricidade (BEN, 2008). As termelétricas participaram com 14,7% na oferta de energia elétrica em 2007, assumindo o papel de complementar a matriz energética nacional.

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), as termelétricas a gás natural serão cada vez mais importantes nesta composição (figura 13). Além do fato do potencial exploratório hidrelétrico ser finito e como a produção de energia em hidrelétricas depende das chuvas, nos casos de períodos de estiagem é necessário recorrer a outras alternativas de geração, como as termelétricas, a fim de se garantir o fornecimento de energia elétrica.



Fonte: EPE (2007)

Figura 13. Projeção da expansão da geração termelétrica no Brasil

Pode-se afirmar que o gás natural é um combustível competitivo diante de outras fontes primárias de energia, pois é possível verificar que seu mercado é proporcional à estabilidade e ao volume de sua oferta. O início da operação do gasoduto Bolívia-Brasil, em 1999, ampliava o mercado de GNC no Brasil (é possível observar esse crescimento na figura 1, do capítulo 1). No ano seguinte, seguindo as mesmas perspectivas positivas do mercado de GNC, o governo federal implementou o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT) que estimulava a participação e garantia o fornecimento do gás natural para geração de energia elétrica (MME, 2000). Em 2001, a diminuição dos níveis de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas comprometeu, por um período, o devido suprimento de eletricidade no país. Ainda que os consumidores praticassem o racionamento, eram necessários esforços governamentais para que a demanda fosse

suprida, ainda que parcialmente. Para tal, as termelétricas a gás foram acionadas, tendo sido fundamentais no sentido de complementar a produção de energia elétrica. A oferta de gás natural, por sua vez, não estava dimensionada para atender o seu mercado habitual adicionado do consumo das termelétricas operando próximas de suas capacidades. Nesta ocasião, o governo decidiu priorizar o fornecimento do gás para as termelétricas. Conseqüentemente, houve escassez e falta de gás natural em postos de abastecimento em algumas grandes indústrias, gerando prejuízos financeiros (ANUÁRIO, 2009).

Em 2008, o Brasil era o 40º país no *ranking* mundial de geração de energia termelétrica, com 1.041 usinas e capacidade instalada de 22.392 MW (ANUÁRIO, 2009). No setor de energia elétrica brasileiro em agosto de 2009, as usinas termelétricas já totalizavam 1.257 unidades, com capacidade de 24.355 MW, responsáveis por 23,23% da potência de geração elétrica nacional (BIG, 2009). Este parque de geração termelétrica nacional é composto por usinas movidas a gás, óleo diesel, resíduos de madeira *etc.* (tabela 6). Em setembro de 2003, havia 56 centrais termelétricas a gás natural em operação no Brasil, com capacidade de geração de 5.581 MW (ANEEL, 2008). Em 2008, as termelétricas a gás natural já totalizavam 85 unidades (tabela 6), o que representava uma potência geradora de 10.213 MW. Neste mesmo ano, essas termelétricas a gás produziram 47% do total de energia gerada pelas termelétricas (ANUÁRIO, 2009). Em agosto de 2009, já existiam 90 usinas termelétricas a gás, com potencial de geração de 10.599 MW, que corresponde a 9,38% da capacidade instalada de geração de eletricidade no país.

Tabela 6. Número de usinas termelétricas* no Brasil por tipo de combustível em 2008

Número de usinas por combustível	
Oleo diesel	596
Bagaço de cana	252
Gás natural	85
Resíduos de madeira	27
Óleo combustível	20
Licor negro	13
Gás de alto forno	11
Carvão mineral	8
Gás de refinaria	7
Outros	22

Fonte: ANUÁRIO (2009)

* Não foram consideradas as usinas nucleares

As eficiências energéticas médias na produção de energia termelétrica no país são 45% para gás natural, 29% para o carvão e 34% para derivados de petróleo (óleo diesel e gasolina) (IEA, 2008c).

Dos 130 empreendimentos em construção voltados para a geração de energia elétrica, 19 são usinas termelétricas, sendo que 17 delas utilizam gás natural (ANEEL, 2008). Sobre as possibilidades de produção de energia em termelétricas, estes números sinalizam uma preferência pelas térmicas a gás. A conclusão destas construções deve aumentar ainda mais o consumo de gás no setor de geração e co-geração de eletricidade, que já vem ocorrendo. Em 2007, foram consumidos em média 7.313 mil m³/dia (geração e co-geração), o que representou 17,7% da demanda por GN no país. Em 2008, esse valor percentual passou para 31,4%, com uma média de consumo de 15.571 mil m³/dia, apresentando um aumento de 112,9 % entre a média destes dois anos (ABEGAS, 2009).

3.4. CADEIA DE SUPRIMENTO DA ENERGIA TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL

Este item irá detalhar a cadeia de suprimento da energia termelétrica a gás através de três subitens. O primeiro abordará o fornecimento da matéria-prima (GN processado), o segundo explicará as tecnologias de geração de termeletricidade a gás, enquanto o terceiro explanará sobre a transmissão e distribuição da energia elétrica para o carregamento dos VEBs. Ao final do capítulo é apresentado o fluxograma da cadeia de suprimentos da energia termelétrica a gás natural, montado a partir das informações contidas ao longo do capítulo.

3.4.1. Fornecimento da matéria-prima

O gás utilizado nas usinas é fornecido através das mesmas redes de gasodutos de transporte e distribuição vistas na cadeia de suprimento do GNC. Desta forma, a etapa de fornecimento da matéria-prima para a produção de energia termelétrica a gás engloba todas as etapas vistas na cadeia do GNC até os destinos da distribuição do gás, que

deixam de ser os pontos de abastecimento de combustíveis para dar lugar às usinas termelétricas. Conforme mencionado no capítulo anterior, existem casos onde o GN pode ser fornecido para termelétricas através dos gasodutos de transporte, não sendo necessário seu transporte para a rede de gasodutos de distribuição. Isso ocorre normalmente quando uma termelétrica está situada num local onde já existe um gasoduto de transporte, sendo necessário apenas efetuar a construção de um trecho de duto a fim de completar o trajeto do GN até a termelétrica.

Do total de GN comercializado em 2008 para geração elétrica no país, as distribuidoras do RJ (CEG e CEG RIO) detiveram 67,8% de participação (tabela 7), destacando-se no setor. O restante ficou pulverizado, predominantemente, entre os estados de São Paulo (10,7%), Bahia (5,1%), Minas Gerais (5,0%), Rio Grande do Sul (4,1%) e Paraná (3,7%).

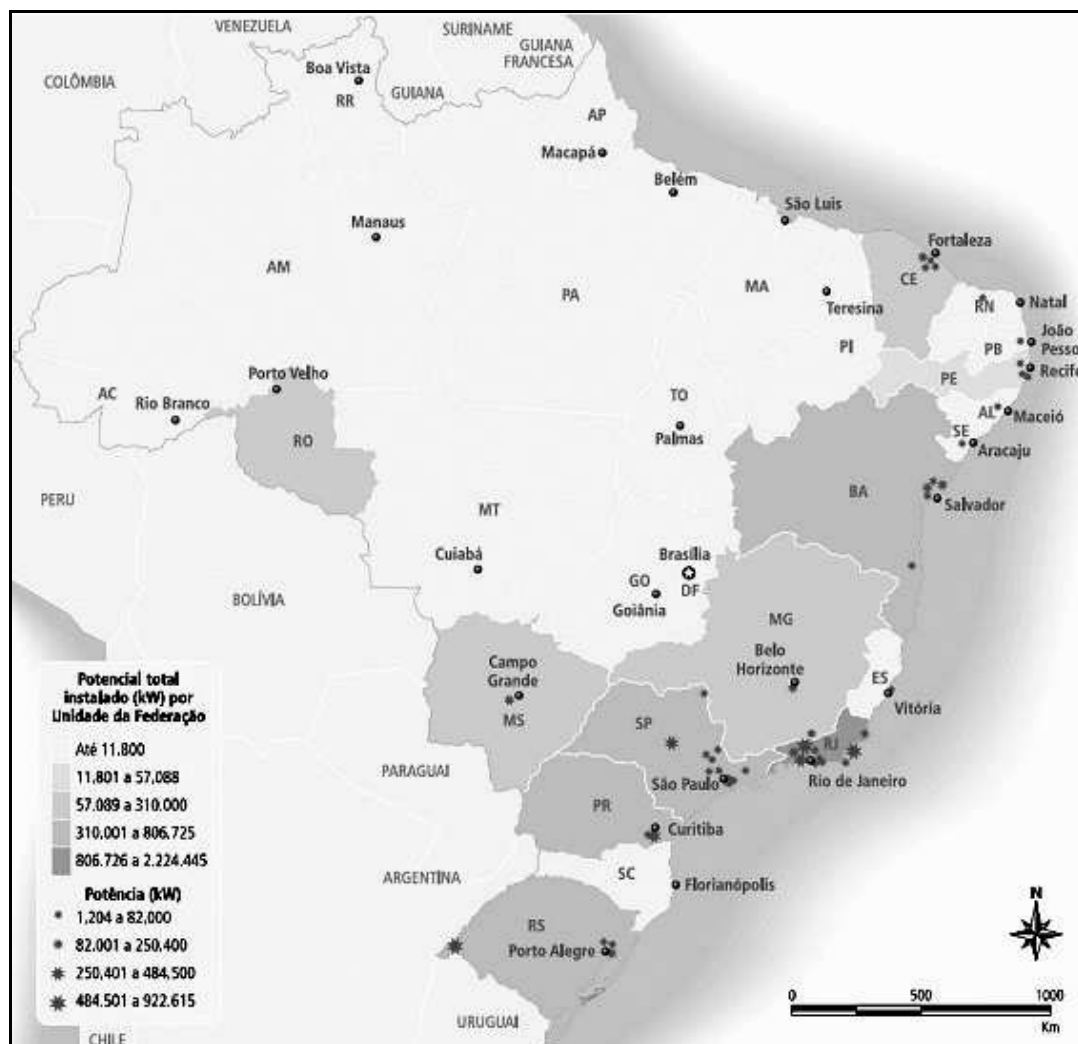
Tabela 7. Comercialização de GN para geração de eletricidade em 2008

REGIÃO	ESTADO	DISTRIBUIDORA	10 ³ m ³ /dia	% do Total
NE	AL	ALGAS	4,7	0,03%
	SE	SERGAS	4,8	0,03%
	BA	BAHIAGÁS	797,4	5,1%
	PB	PBGAS	-	-
	CE	CEGAS	86,5	0,6%
	RN	POTIGAS	2,7	-
	PE	COPERGAS	217,4	1,4%
	PI	GASPISA	-	-
	MA	GASMAR	-	-
Total NE			1.113	7,1%
SE	MG	GASMIG	786	5,0%
	RJ	CEG	3.759,7	24,1%
	RJ	CEG RIO	6.823,8	43,7%
	ES	BR Distribuidora	-	-
	SP	GAS BRASILIANO	-	-
	SP	GAS NATURAL SP SUL	-	-
	SP	COMGAS	1.677,0	10,7%
Total SE			13.046	83,5%
N	AM	CIGAS	-	-
	AP	GASAP	-	-
	RO	RONGAS	-	-
Total N			-	0%
CO	DF	CEBGAS	-	-
	GO	GOIÁS GÁS	-	-
	MS	MSGAS	233,2	1,5%
	MT	MTGAS	18	0,1%
Total CO			251,6	1,6%
S	PR	COMPAGAS	576,7	3,7%
	SC	SCGAS	-	-
	RS	SULGAS	637,7	4,1%
Total S			1.214	7,8%
TOTAL Brasil			15.626	100,0%

Fonte: ABEGAS (2009)

O consumo apresentado na tabela 7 está diretamente relacionado com a distribuição física das termelétricas a gás no país. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007), em 2006, a maioria das termelétricas a gás estava situada na região Sudeste (38 unidades, com capacidade de geração de cerca de 5.600 MW). Em capacidade, a região Sul possuía sete unidades que totalizavam uma potência de 2.425 MW, enquanto a Nordeste contava 22 unidades (total de geração de 2.115 MW). As regiões Centro-Oeste e Norte possuíam juntas quatro plantas a gás natural, que

totalizavam quase 1.000 MW. A figura 14 apresenta a distribuição geográfica das usinas termelétricas a gás.



Fonte: EPE (2007)

Figura 14. Localização e faixa de potência das termelétricas a GN no Brasil

3.4.2. Geração da Energia Termelétrica a Gás

Segundo TOLMASQUIM (2005), “O processo de funcionamento das centrais termelétricas é baseado na conversão de energia térmica em energia elétrica. O processo é iniciado com o aquecimento de um fluido que assim, se expande realizando trabalho juntamente a turbinas térmicas” que possuem um gerador elétrico acoplado em seu eixo, produzindo a energia elétrica.

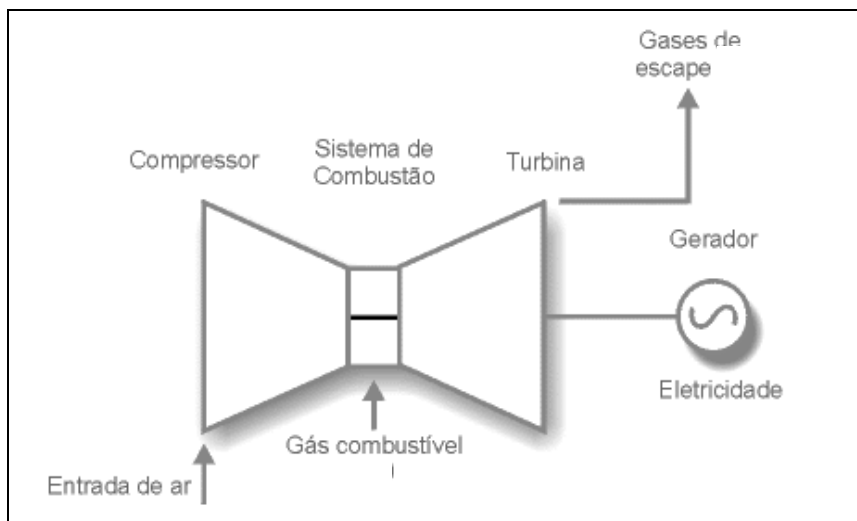
As usinas termelétricas (não nucleares) podem utilizar dois tipos de mecanismos de combustão para o aquecimento do fluido:

- Combustão externa: onde o fluido é aquecido sem entrar em contato direto com o combustível. Neste caso o fluido na maioria das vezes é a água, que recebe o calor da combustão e se expande na forma de vapor d'água movimentando uma turbina acoplada. Depois o vapor d'água segue para o condensador onde é resfriado e retorna ao sistema. Este tipo de sistema constitui as termelétricas a vapor, que se baseiam no Ciclo Rankine e possuem eficiência energética em torno de 25 a 30%. O calor proveniente da combustão é usado para aquecer a água contida numa caldeira. O combustível para gerar esse aquecimento pode ser diesel, gás natural, carvão mineral, entre outros.

- Combustão interna: o ar e os gases liberados na combustão constituem o fluido, que se expande e movimenta uma turbina a gás. Sua eficiência energética é maior do que as de combustão externa, chegando a 38%. O ciclo aberto (ou de Brayton) consiste na admissão e compressão do ar atmosférico, que se mistura com o GN numa câmara de combustão, onde são queimados gerando gases a altas temperaturas. Esses gases acionam a turbina que move um gerador acoplado para que seja gerada a energia elétrica. Os gases da combustão se expandem através da turbina e são dispersados na atmosfera, caracterizando o ciclo aberto (EPE, 2007), o que compromete significativamente a eficiência do processo (TOLMASQUIM, 2005).

As tecnologias de geração termelétrica a gás natural no Brasil podem ser divididas em três grupos: centrais termelétricas de ciclo simples, de ciclo combinado, e sistemas de cogeração. A seguir estão descritas sucintamente essas três tecnologias e como elas compõem o parque de geração termelétrica a partir deste combustível no país.

- a) Termelétricas de ciclo simples (ou aberto): A energia elétrica é gerada a partir do sistema de combustão interna baseado no ciclo de Brayton. A figura 15 mostra um esquema de turbina de ciclo simples, onde parcela energia que entra no sistema é convertida em energia elétrica, enquanto outra é liberada para atmosfera sob a forma de calor através dos gases de escape.



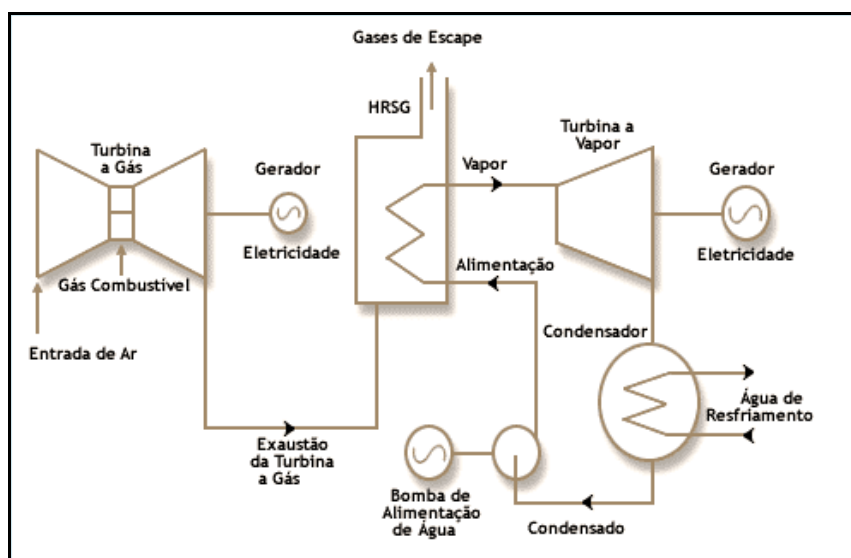
Fonte: EPE (2007)

Figura 15. Fluxograma de turbina em ciclo simples (ou aberto)

As turbinas a gás em ciclo simples possuem eficiência energética de até 38%, valor que não deverá aumentar consideravelmente num futuro próximo (EPE, 2007). Como será possível verificar, esse valor de eficiência é baixo se comparado às outras tecnologias. Por outro lado, possuem baixo custo de investimento por kW instalado, curtos prazos de instalação e operacionalmente podem levar apenas alguns minutos para alcançar a sua capacidade de geração.

- b) Termelétricas de ciclo combinado: Segundo TOLMAQUIM (2005), existem diversas configurações para se construir uma planta de ciclo combinado, entretanto uma das principais é a mostrada na figura 16. O princípio do funcionamento é a utilização conjunta dos ciclos Brayton e Rankine, consistindo na utilização de turbinas a gás e a vapor, de modo que a energia térmica contida nos gases de descarga em função de sua alta temperatura seja aproveitada para a geração de vapor. O ar é comprimido e misturado com o gás natural, quando ocorre a combustão. Os gases da combustão se expandem e movimentam a turbina a gás, e depois em seguida o calor existente nos gases de exaustão das turbinas a gás é recuperado através de caldeiras de recuperação de calor (HRSG - *Heat Recovery Steam Generator*), produzindo o vapor necessário ao acionamento da turbina a vapor (ARAGONA, 2003), conforme é exposto na figura 16. O vapor aciona a turbina que por sua vez faz funcionar o gerador. Ao

sair da turbina, o vapor passa por um condensador, onde é condensado e depois bombeado para ser usado como água de alimentação na caldeira de recuperação de calor. As termelétricas com turbinas em ciclo combinado podem apresentar eficiência energética entre 45% e 56% (EPE, 2007) (UTENF, 2010).



Fonte: ARAGONA (2003)

Figura 16. Fluxograma de uma termelétrica a ciclo combinado (ou fechado)

- c) Plantas de cogeração: A cogeração de energia é definida como o processo de produção de calor e trabalho (energia mecânica-elétrica). Assim como o ciclo simples, a cogeração também utiliza as turbinas para a geração de eletricidade, porém aproveita os gases de escape a altas temperaturas para a produção de vapor quente, que através de uma caldeira de recuperação gera água quente ou gelada (essa possibilidade de resfriamento ocorre através de um equipamento específico chamado chiller). Essa água quente ou gelada é aproveitada então em processos industriais ou comerciais onde este recurso se faz necessário. A cogeração de energia pode alcançar rendimentos energéticos acima de 85% (BNDES, 2006). Por outro lado, a tecnologia de cogeração é mais aplicável em escala reduzida, como por exemplo para shopping centers, hospitais, indústrias, complexos hoteleiros e aeroportos.

A tabela 8 mostra que das 71 usinas termelétricas a gás em operação no Brasil em 2006, 45% (32 unidades) utilizavam o sistema de ciclo simples, porém representavam apenas

32% do total da capacidade geradora total. Em contrapartida, 17% (12 unidades) dessas usinas operavam com ciclo combinado, representando expressivos 45% da capacidade de geração termelétrica. Observa-se também que os projetos de expansão têm base nos sistemas a ciclo combinado, projetos quais se concentram na região Sudeste (tabela 8). Essa opção pelo ciclo combinado sugere um cenário futuro positivo no que se refere à eficiência energética e à capacidade geradora do parque gerador termelétrico a gás do país, pois o ciclo combinado possui maiores eficiências (de 45% até 56%) em relação ao ciclo simples (até 38%).

Tabela 8. Perfil do parque termelétrico a gás no Brasil

Região	Em operação		Em construção		Em outorga	
	Unidades	Capacidade kW	Unidades	Construção kW	Unidades	Outorga kW
Sul	7	2.425.158	2	7.000	2	7.600
Ciclo Simples	3	163.859	-	-	-	0
Ciclo Combinado	2	1.124.400	-	-	-	-
Cogeração	2	1.136.899	2	7.000	2	7.600
Sudeste/C-Oeste	41	6.078.755	2	18.402	21	5.816.138
Ciclo Simples	18	2.338.097	-	-	7	536.189
Ciclo Combinado	4	2.543.125	-	-	9	5.237.467
Cogeração	19	1.197.533	2	18.402	5	42.482
Norte	1	349.950	-	-	-	-
Ciclo Simples	0	0	-	-	-	-
Ciclo Combinado	1	349.950	-	-	-	-
Cogeração	0	0	-	-	-	-
Nordeste	22	2.156.701	2	352.656	5	524.406
Ciclo Simples	11	1.010.650	-	-	1	100.000
Ciclo Combinado	5	1.114.536	1	347.400	3	415.706
Cogeração	6	31.515	1	5.256	1	8.700
TOTAL	71	11.010.564	6	378.058	28	6.348.144

Fonte: EPE (2007)

A energia gerada nas usinas termelétricas a gás de ciclo simples, ciclo combinado e plantas de cogeração pode ser comercializada e disponibilizada nas redes de transmissão e distribuição, assunto que será desenvolvido no próximo item.

3.4.3. Transmissão e Distribuição

Dos segmentos de infra-estrutura, a energia elétrica é o serviço mais universalizado no país. Em 2008, 95% da população possuía acesso à energia elétrica. Neste mesmo ano, o segmento de transmissão no Brasil era composto por mais de 90 mil quilômetros de linhas operado por 64 concessionárias de transmissão (ANEEL, 2008). Essas empresas, que obtiveram as concessões ao participar de leilões públicos promovidos pela ANEEL, são responsáveis pela implantação e operação da rede que liga as usinas (fontes de geração) às instalações das companhias distribuidoras de eletricidade localizadas junto aos centros consumidores.

O segmento de transmissão de energia elétrica nacional é compreendido por dois sistemas: o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange a quase totalidade do território brasileiro, e os Sistemas Isolados (SI), instalados principalmente na região Norte (ANEEL, 2008). O SIN, em 2008 possuía 89,2 mil quilômetros em linhas de transmissão (ANEXO II), capazes de abrigar 96,6% de toda capacidade elétrica do país. Essa via de transmissão é chamada também de “rodovia elétrica”. Pode-se observar que a energia produzida nas regiões onde se encontram os sistemas de geração de eletricidade do SIN pode ser levada à maioria das regiões do Brasil.

Pequenas centrais geradoras hidrelétricas e termelétricas (a óleo diesel, biomassa e óleo combustível) localizadas em parte da região Norte complementam o fornecimento de energia elétrica para a parcela da população não coberta pelo SIN. Essas centrais totalizam 4% do parque gerador do país e estão instaladas em uma região de baixa densidade populacional: 45% do território nacional, onde está concentrada apenas 3% da população. Grande parte deste território está na Amazônia, onde rios e florestas dificultam a construção de linhas de transmissão. Ainda que ocorram esses entraves, a ANEEL declarou que a tendência é que os Sistemas Isolados sejam, ao longo do tempo, integrados ao SIN.

O SIN é operado pelos segmentos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo coordenado e controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A regulação e a fiscalização são feitas pela Agência Nacional de Energia

Elétrica (ANEEL). Este perfil integrado do setor permite que ocorra troca de energia elétrica entre diferentes regiões através da “rodovia elétrica”.

Em 2008, o mercado brasileiro de distribuição de energia elétrica era composto por 63 distribuidoras, empresas responsáveis por atender o consumidor final*. Nas redes de transmissão, após deixar a usina, a energia elétrica trafega em tensão que varia de 88 kV (quilovolts) a 750 kV. Ao chegar às subestações das distribuidoras, a tensão é abaixada, e por meio de um sistema composto por cabos, postes e transformadores, chega ao consumidor final em 127 V ou 220 V (ANEEL, 2008).

As termelétricas a gás possuem a grande vantagem de poderem ser construídas em prazos de tempo mais curtos do que as hidrelétricas e de serem instaladas próximas dos centros consumidores. Desta forma, diminui-se o percurso no transporte da energia, diminuindo as perdas com transmissão e distribuição.

No Brasil, a energia elétrica utilizada no setor de transportes em 2007 representou 0,2% do total de energia consumida no setor e se aplicou integralmente no modo ferroviário (BEN, 2008). No entanto, conforme os estudos e projetos relacionados ao veículo elétrico a bateria avancem no sentido de viabilizarem a utilização desta tecnologia em escala comercial, a tendência é que o modo rodoviário detenha alguma fatia da demanda por energia elétrica. Existe grande concentração de veículos e postos de abastecimento nas áreas urbanas. As grandes metrópoles do país são as principais cidades consumidoras de energia. Caso a comercialização de veículos elétricos a bateria venha a se desenvolver, é de se esperar oscilações no comportamento de consumo de eletricidade nas áreas urbanas, tanto em relação à quantidade total e potência quanto à redistribuição da demanda ao longo das 24 horas do dia (sazonalidade diária).

*Nota: Existem dois tipos de consumidores: os livres e os cativos. Os livres são grandes consumidores (demanda acima de 3.000 kW) com poder de barganha e que efetivamente participam dos leilões de energia, não sendo condicionados a comprar energia da distribuidora responsável pela rede de concessão onde estão instalados. Os consumidores cativos são os que possuem demanda de até 500 kW e também grandes consumidores que optaram por não participar de leilões de energia. Este grupo é atendido pela distribuidora local, submetendo-se às suas tarifas. Os consumidores que demandam carga entre 500 e 3.000 kW, possuem liberdade para comprar energia em leilão, desde que seja gerada a partir das fontes alternativas⁹.

⁹ São consideradas fontes alternativas de energia elétrica: usinas hidrelétricas com capacidade instalada de até 30.000 kW, usinas de co-geração de energia elétrica a partir da biomassa (bagaço de cana de açúcar, casca de arroz, entre outros), fontes solares e eólicas (ANEEL, 2008).

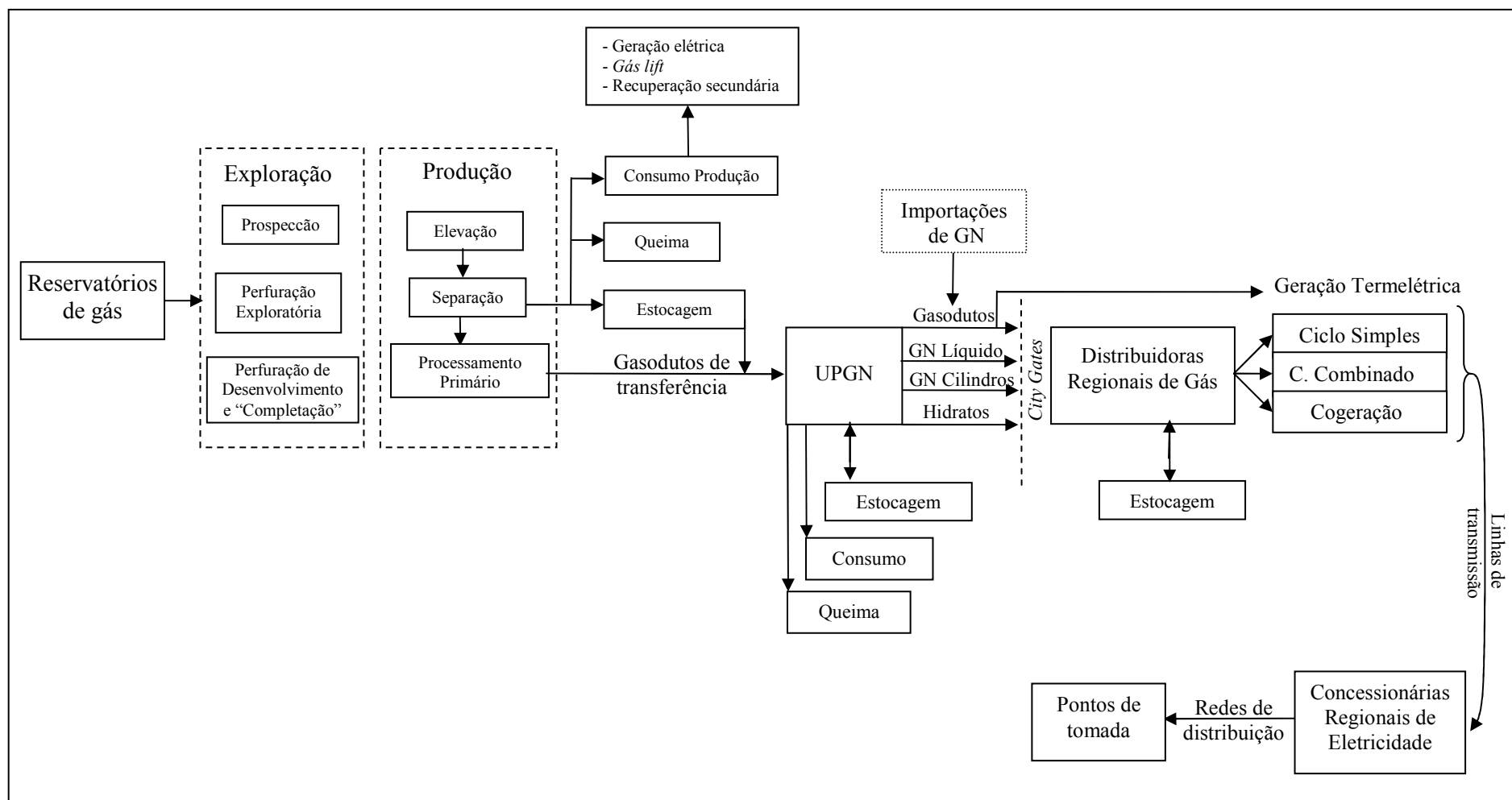
O carregamento dos veículos elétricos a bateria (VEB) ocorre através de tomadas de eletricidade. Esses pontos de carga podem ser instalados onde existir rede de distribuição de eletricidade e for conveniente (residências, estacionamentos, postos de serviços *etc.*). Também podem existir postos de abastecimento rápido, onde o usuário do VEB pode efetuar a recarga da bateria em tempos muito inferiores aos das tomadas convencionais. No dia 11 de junho de 2009, foi inaugurado o primeiro posto para abastecimento de veículos elétricos no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro.

A disseminação dos veículos elétricos *plug in* no mercado regional ou mundial, requer alguns cuidados. Existe a expectativa que a venda de automóveis híbridos *plug in* seja líder de vendas no mercado automobilístico nos EUA a partir de 2020, assim como no Brasil (ERBER, 2009). No entanto, vale lembrar o caso do veículo *flexfuel*, cuja tecnologia se mostrou competitiva entrando no mercado em 2003, chegando a 90% da venda nacional de veículos leves em 2008 (ERBER, 2009). Ou seja, a tecnologia *flexfuel* levou apenas 5 anos para dominar praticamente todo o mercado. Obviamente, foram empreendidos esforços no que tange a produção e processamento da cana-de-açúcar, bem como oferecidos incentivos fiscais e toda uma estrutura logística envolvida (transporte, armazenagem, bombas de carregamento *etc.*). Nesse mesmo sentido, a infraestrutura necessária para o carregamento dos veículos *plug in* está num estágio de amadurecimento. É preciso estudar como será o comportamento da demanda por energia elétrica em horários de pico de carregamento de acordo com diversos cenários a fim de verificar se a oferta de energia e o dimensionamento da rede elétrica estarão devidamente adequados a uma potencial demanda, de modo que se evite transtornos futuros. Outra questão diz respeito a uma padronização mundial para o equipamento físico de carregamento desses veículos, principalmente em relação ao sistema de “carregamento rápido” (*quick charge*). Apesar de já existirem pontos de carregamento rápido em algumas grandes cidades em diversos países, (EUA, Alemanha, Holanda, Japão, Portugal, entre outros) (NANSI *et al.*, 2001), MAITRA (2009) ressalta que o estágio tecnológico atual (2009) do VEB é o momento oportuno para esta definição e por isso é de se esperar que se desenvolva um padrão para o sistema físico (encaixe das tomadas, cabos, carregadores, *displays* de leitura *et cetera*) de carregamento de veículos *plug in* (MAITRA, 2009). A tendência é que esses equipamentos sejam instalados em lugares onde as pessoas tendem a permanecer algumas horas como estacionamentos

de *shopping centers*, de hospitais, de universidades, hotéis, aeroportos e local de trabalho (NANSAI *et al.*, 2001). Também é conveniente a instalação desses pontos de carregamento rápido em rodovias, em postos de abastecimento, se aproximando da realidade atual em relação aos veículos de motores de combustão.

A figura 18 apresenta a cadeia de suprimento da energia termelétrica produzida a partir do GN, de acordo com as informações levantadas neste capítulo. Este fluxograma mostra de forma ampla como funciona a cadeia da energia termelétrica. Em capítulos posteriores serão apresentadas estruturas mais simples e específicas que foram derivadas desta estrutura, mais complexa (figura 17).

Os Capítulos 2 e 3 descreveram as fontes de energia a serem consideradas e suas respectivas cadeias de suprimentos. O próximo capítulo irá abordar os usos finais associados a cada uma dessas fontes de energia.



Fonte: Elaboração própria

Figura 17. Fuxograma da cadeia de suprimento da energia termelétrica a gás

Capítulo 4 – Veículo leve movido a GNC e VEBs (veículo elétrico a bateria)

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

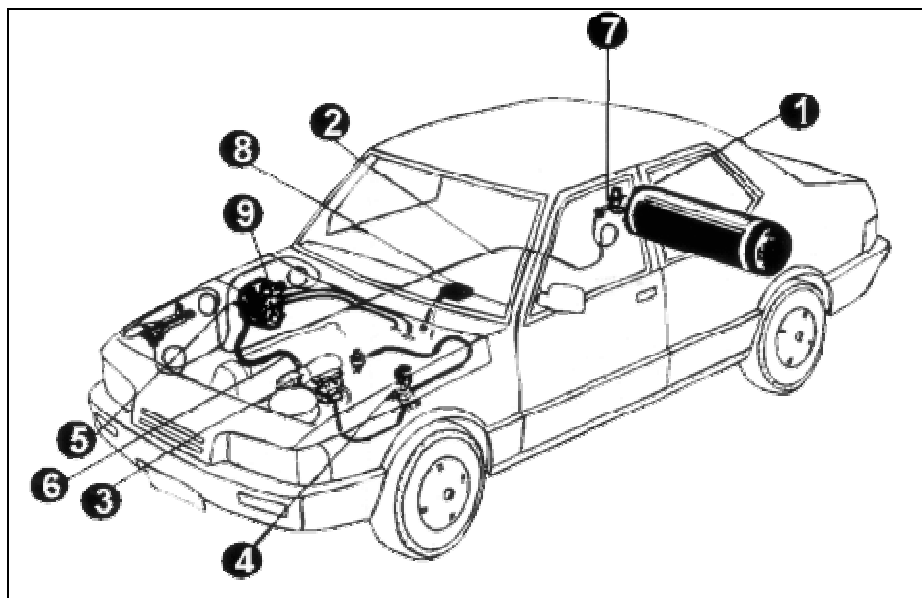
Este capítulo tem como objetivo apresentar as tecnologias automotivas a serem consideradas como usos finais das fontes de energia selecionadas: GNC e ETE. Essas tecnologias consistem em sistemas de propulsão utilizados em veículos leves, capazes de transformar a energia estocada em seus reservatórios em energia mecânica.

4.2 O VEÍCULO A GNC

As propriedades químicas do gás natural permitem que ele seja usado como combustível em motores de combustão interna (MCIs) de ciclo Otto. No Brasil, esses motores usam, convencionalmente, como combustíveis o álcool hidratado ou uma mistura comercializada de gasolina com álcool denominada gasolina C (mistura de gasolina pura com álcool anidro, cujos padrões técnicos são pré-estabelecidos pela Agência Nacional do Petróleo através da portaria nº 309, de 27/12/2001).

A produção e comercialização de veículos leves no Brasil estão concentradas em veículos que usam MCIs com sistemas de ignição do tipo *flexfuel* (flexível) caracterizados por admitirem qualquer mistura de gasolina C e álcool hidratado num único tanque de combustível. A produção dos carros *flexfuel* entrou modestamente no mercado brasileiro em 2003, mas em 2008 já representava 89% da produção de veículos leves (ANFAVEA, 2008). Tanto o motor dedicado a apenas um único combustível quanto o motor *flexfuel* podem sofrer modificações para que seja possível utilizar também o gás natural como mais uma opção de combustível (num reservatório separado para o gás). Os veículos adaptados podem ser chamados de “bicomcombustível” (no caso de motores originalmente concebidos para apenas um combustível; gasolina C ou álcool hidratado) (D’AGOSTO, 2004) ou “tricombustível” (quando o motor original do veículo permite o uso de mais de um tipo de combustível; como é o caso do *flexfuel*) (IANGV, 2009).

A adaptação do veículo para uso de GNC é feita a partir da instalação de um conjunto específico de equipamentos (popularmente conhecido como “*kit gás*”) (figura 18).



FONTE: D’AGOSTO (2004)

Legenda: (1) cilindro de alta pressão; (2) tubulação de alta pressão; (3) dosador/misturador de GNV com ar; (4) eletroválvula para seleção de combustível; (5) válvula de abastecimento de GNV; (6) tubulação de baixa pressão – alimentação; (7) válvula de cabeça de cilindro; (8) medidor de GNV; (9) válvula reguladora de pressão.

Figura 18. Componentes específicos para adaptação de veículos ao uso do GNC

Em função de seu alto poder anti-detonante, o gás pode ser submetido a altas taxas de compressão (14:1 a 16:1). No entanto, a taxa de compressão original dos motores a gasolina é 8:1 e a álcool hidratado, 12:1 (D’AGOSTO, 2004, GASNET, 2009). Essa limitação acarreta perda de potência entre 10% e 15% nos veículos adaptados (D’AGOSTO, 2004). Para atenuar essa perda foi desenvolvido um equipamento denominado “variador de avanço”, capaz de melhor adequar o momento de ignição do motor às características físico-químicas do GNC. Em outras palavras, o variador de avanço permite reduzir a perda de desempenho do veículo adaptado ao uso do GNC (BIGAS, 2009).

O cilindro é um reservatório construído e testado segundo rigorosos critérios e normas técnicas nacionais e internacionais, de modo que seja possível armazenar de forma segura o gás natural a pressões que estão na faixa de 250 atm (GASNET, 2009). Quanto

mais leve for o cilindro, melhor, por não acrescentar muito peso ao veículo a ponto de comprometer em demasia o desempenho do motor. O cilindro tradicional de alta pressão para GNC é fabricado a partir de tubos de aço-liga cromo-molibdênio, sem costura e de espessura de parede entre 8 mm e 10 mm, existente em diversos volumes (8 m³ a 25 m³). Existem também cilindros fabricados em alumínio reforçados com fibra de carbono, que apesar de serem significativamente mais leves em relação aos de aço-liga, possuem preço ainda muito elevado comparativamente (GASNET, 2009). O GN possui menor densidade energética¹⁰ do que outros combustíveis, o que se traduz numa desvantagem sobre a questão da armazenagem. Comparando à gasolina, necessita-se de quatro unidades de volume de GN para uma de gasolina a fim de se obter o equivalente em energia (BOSCH, 2005). Em relação ao álcool hidratado essa relação é de 2,6.

A adaptação deve ser feita em oficinas credenciadas pelo INMETRO*. Atualmente existem 628 oficinas credenciadas no país, distribuídas de maneira heterogênea, como se pode observar na tabela 9. Das oficinas credenciadas, os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina se destacam entre os demais, somando 67% dos estabelecimentos. É possível constatar que a presença dessas oficinas é mais acentuada em estados e regiões onde ocorrem maiores ofertas de GNC.

*Nota: Por questões de segurança e qualidade, as empresas instaladoras de sistemas de GNC devem cumprir todos os requisitos requeridos na Portaria nº 102, de 20 de maio de 2002, aprovada pelo INMETRO.

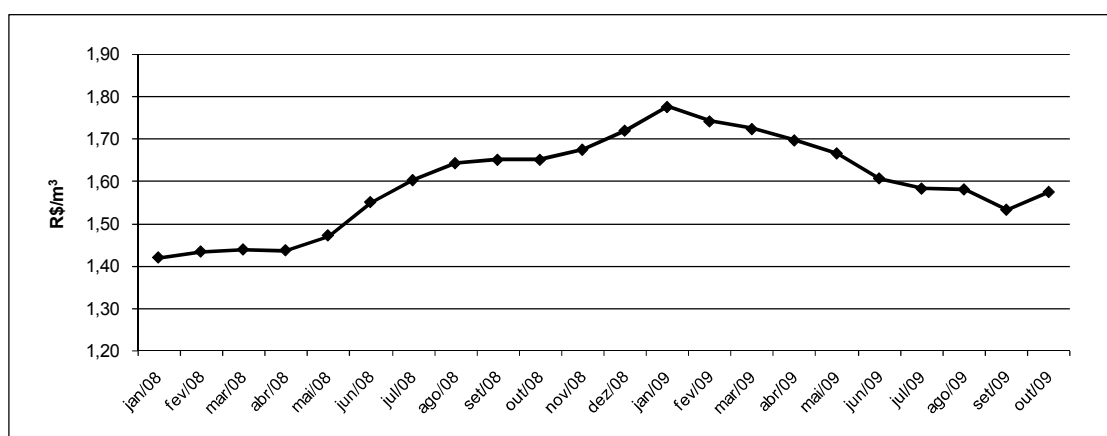
¹⁰ relação da energia contida num sistema por unidade de volume ou massa, dependendo do contexto. Neste caso, ambas relações são importantes e convêm serem altas.

Tabela 9. Oficinas instaladoras de sistemas de adaptação de veículos para uso do GNC

Região	UF	Oficinas Credenciadas	Percentual
SE	SP	154	24,5%
	ES	12	1,9%
	RJ	187	29,8%
	MG	24	3,8%
NE	SE	7	1,1%
	CE	4	0,6%
	BA	30	4,8%
	AL	6	1,0%
	RN	11	1,8%
	PE	15	2,4%
	PB	8	1,3%
CO	MS	8	1,3%
	MT	4	0,6%
	GO	2	0,3%
	DF	9	1,4%
S	RS	53	8,4%
	SC	80	12,7%
	PR	14	2,2%
TOTAL		628	

Fonte: INMETRO (2009)

Uma vez que os veículos brasileiros não são produzidos para a utilização dos GN em seus motores, a decisão de adaptar um veículo para GNC deve levar em conta alguns fatores que influenciam diretamente a viabilidade econômica da adaptação como: incentivos governamentais (redução de taxas e impostos), preço de mercado varejista do GNC, da gasolina e do álcool hidratado (postos de abastecimentos); preço dos equipamentos a serem instalados bem como da manutenção dos mesmos e a taxa de utilização do veículo (média de quilometragem rodada por unidade de tempo). A figura 19 apresenta a oscilação do preço médio do gás no Brasil (preço ao consumidor).



Fonte: ANP, 2009c

Figura 19. Preço médio do GNC para o usuário final nos postos de abastecimento

O gás natural é o hidrocarboneto com a maior relação hidrogênio/carbono (4:1), pois é o que apresenta menor teor de carbono. Essas e outras características fazem com que o gás proporcione vantagens ambientais na sua escolha como combustível. O manual automotivo da fabricante de peças de motor, BOSCH (2005), apresenta gráficos comparativos entre motores a gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), GNC e óleo diesel. Quanto às emissões de CO, hidrocarbonetos não-metanos, compostos nitrosos e material particulado, o GN se mostrou uma opção igual, ou melhor, frente aos demais combustíveis. Apenas nas emissões dos gases de efeito estufa o diesel obteve desempenho melhor.

4.2.1 Veículos a GNC no Mundo

O primeiro programa de adaptação de motores de combustão interna para GNC ocorreu na Itália, em 1978 (KAHN, 2001). A partir de então, países como EUA, Argentina, Austrália, Canadá, China, Japão e Brasil, entre outros, iniciaram seus programas neste mesmo sentido.

Atualmente, Paquistão, Argentina, Brasil e Irã lideram a lista entre países com as maiores frotas mundiais de veículos a GNC (tabela 10).

Tabela 10. As maiores frotas de veículos leves a GNC

País	Veículos a GNC
Paquistão	2.200.000
Argentina	1.793.449
Brasil	1.614.404
Irã	1.532.268
Itália	584.577
Índia	315.200
China	320.000
Colômbia	296.261
Bangladesh	150.253
Tailândia	122.464

Fonte: FOLHA (2009)

Segue abaixo algumas ações de incentivos de utilização do GNC em diversos países:

- O presidente dos Estados Unidos da América eleito em 2008, Barack Obama, apresentou um plano de governo com conteúdo voltado também para o meio-ambiente, principalmente sobre a questão das mudanças climáticas. Essa preocupação, associada à questão da não-dependência do petróleo, indica oportunidade de impulsionar o mercado americano de GN. Quanto à questão ambiental, um carro popular movido à gasolina libera cerca de meio quilo de CO₂ a cada 1,5 km rodado, enquanto um carro movido a GNC libera três vezes menos CO₂ rodando a mesma quilometragem (FOLHA, 2009a). Outro aspecto conveniente é que os Estados Unidos possuem reservas gasíferas abundantes, o que facilita de certa forma sua viabilidade econômica.
- Na Itália, caracterizando um esforço para se estimular o consumo do GNC, vêm crescendo o número das publicidades relacionadas a veículos a GN, bem como os incentivos governamentais para aumentar sua atratividade econômica (FOLHA, 2009a).
- No Irã, em abril, foi apresentado ao mercado o veículo que possui o motor a GNC mais potente (“Samand Soren”), posição até então ocupada pelo “Honda Civic GX” a GNC. O motor do “Samand Soren” conta com 150 cv de potência, 31 cv a mais que seu concorrente (FOLHA, 2009a).
- Na China, aumentos na produção de GN vêm fortalecendo sua indústria e ampliando assim o potencial do uso veicular. A expectativa é que se disponha de maior diversidade na fabricação de veículos a GNC para atrair mais consumidores (FOLHA, 2009a).
- Nos Emirados Árabes espera-se que sejam inaugurados 17 postos de abastecimentos de GNC com capacidade total de abastecerem 10.000 veículos por dia. Em paralelo, estima-se ampliar a rede de oficinas de adaptação, estimulando inclusive a participação das concessionárias para este serviço (FOLHA, 2009a).
- Os países do Mercado Comum do Cone Sul (Mercosul) discutem assuntos como harmonização da segurança, qualidade e trânsito livre em toda a região do Mercosul.

Busca-se um esquema único de utilização do gás natural para uso automotivo que atenda às exigências estabelecidas pelos países envolvidos (FOLHA, 2009a).

Diversos países vêm realizando conferências sobre gás associado a transporte veicular, o que indica uma alta probabilidade de continuidade do desenvolvimento deste mercado mundial nos próximos anos.

4.2.2 Veículos a GNC no Brasil

No Brasil, a história da utilização do GNC em veículos pode ser dividida em fases (GASNET, 2009). A primeira, compreendida entre 1980 e 1991, foi caracterizada pelos incentivos do governo para o uso do GNC em veículos pesados que circulavam nos grandes centros urbanos, visando reduzir a poluição ambiental e minimizar a dependência em relação ao óleo diesel. Por questões como poucos postos de abastecimento de GNC e escassa tecnologia de adaptação para veículos pesados, esta indústria se redirecionou para o segmento de veículos leves.

Entre 1992 e 1994, foi liberado o uso do GNC para frota de empresas e taxistas, o que ajudou a impulsionar o mercado. Nos dois anos seguintes, até 1996, ocorreram fatos marcantes como o Plano Real que estabilizou o preço da gasolina, diminuindo a sensação de economia por parte do usuário de GNC. Ainda neste sentido, as montadoras não mantinham a garantia para veículos adaptados para GNC. Por outro lado, os governos estaduais concediam isenção de impostos para taxistas que adaptassem seus veículos.

Finalmente, a partir de 1997 foi liberado o uso de GNC para o segmento de veículos particulares, que percebia as vantagens econômicas em relação à gasolina e ao álcool. O aumento do número de postos de abastecimento de GNC e a regulamentação do setor contribuíram para a popularização deste combustível.

De acordo com a ANFAVEA, até maio de 2009 não existia produção nacional de veículos que saíssem de fábrica com motor capaz de admitir o GNC (nem motor dedicado exclusivamente ao GNC, tampouco motores a gasolina ou a álcool ou *flexfuel*

já adaptados para admissão de GNC). No entanto, a GASNET (2009) informa que a fabricante FIAT lançou no mercado em 2006, uma linha específica do modelo de veículo “Siena” que já vem de fábrica com motor que permitia o uso tanto da gasolina C, quanto do álcool hidratado ou do GNC. Um outro fabricante de veículos, Chevrolet, em 2006 lançou um modelo do veículo “Astra” que vinha com o “*kit gás*” já instalado. Porém, a equipe contratada para manutenção do equipamento não suportou as altas demandas por serviços de manutenção do “*kit gás*” e parou-se a fabricação deste modelo no mesmo ano (DIRIJA, 2009).

O tamanho da frota brasileira de veículos leves, em 2008, era de cerca de 22.623.000 unidades (ANFAVEA, 2009). A frota adaptada para GNC representava 7,02% do total de veículos leves (tabela 11). Até o período verificado (março de 2009), todos os veículos adaptados no Brasil eram da categoria leve (FOLHA, 2009a). No entanto, foi possível identificar a existência de programas experimentais voltados para adaptação de ônibus urbanos em algumas cidades brasileiras a partir da década de 1980 (São Paulo, Rio de Janeiro, Natal e Salvador entre outras) (KAHN, 2001) (GASNET, 2009).

Tabela 11. Frota de veículos adaptados para uso de GNC por unidade federativa

Região	UF	Veículos Adaptados para GNC	Percentual
SE	SP	381.571	24,4%
	ES	37.246	2,4%
	RJ	688.702	44,0%
	MG	63.375	4,0%
NE	SE	20.949	1,3%
	CE	45.523	2,9%
	BA	68.659	4,4%
	AL	18.373	1,2%
	RN	38.032	2,4%
	PE	46.024	2,9%
	PB	17.622	1,1%
CO	MS	6.020	0,4%
	MT	1.659	0,1%
	GO	497	0,03%
	DF	309	0,02%
S	RS	37.979	2,4%
	SC	67.055	4,3%
	PR	27.292	1,7%
TOTAL		1.566.887	

Fonte: GNV (2009)

4.3 O VEÍCULO ELÉTRICO A BATERIA (VEB)

Este item aborda os veículos elétricos do tipo *plug in*, ou seja, aqueles veículos elétricos com baterias que podem ser carregadas em tomadas de força convencionais (HÍBRIDA, 2009).

Uma dessas tecnologias é a do veículo elétrico a bateria, cuja fonte de energia é apenas a energia elétrica carregada diretamente na tomada. Outra é o veículo elétrico híbrido movido a célula combustível, que é um dispositivo capaz de produzir energia elétrica a partir de reações eletroquímicas e usá-la na propulsão a partir do motor elétrico (mas também admite a possibilidade de armazenar energia elétrica a partir do carregamento de baterias em tomadas). Por último, o veículo híbrido que utiliza energia elétrica de baterias carregadas a partir de carregamento em tomadas de eletricidade ou algum sistema de conversão de energia (muitas vezes, um motor de combustão interna). Os veículos chamados híbridos *plug in* geralmente não possuem como principal fonte de energia a eletricidade, mas sim o hidrogênio ou a gasolina. Estes veículos já estão inseridos no mercado de automóveis mundial e projeções mostram que a partir de 2020, devem ser as tecnologias com maior participação das vendas nos mercados de veículos leves americano (MAITRA, 2009) e brasileiro (ERBER, 2009). Existe tecnologia disponível para que veículos convencionais equipados com MCI possam ser convertidos para veículos elétricos híbridos *plug in*, porém esse processo não será explorado neste estudo.

Em função de seu escopo, este trabalho aborda principalmente o primeiro perfil de veículo elétrico mencionado: o veículo elétrico a bateria *plug in* que usa como fonte energética a energia elétrica. Veículos elétricos híbridos *plug in* também podem ser considerados caso seja necessário, porém excluindo-se qualquer outra forma de obtenção de energia elétrica senão a partir do carregamento da bateria diretamente na tomada, ou seja, na concepção *plug in*.

4.3.1 Tecnologia do Veículo Elétrico a Bateria

De forma diferenciada dos veículos com MCIs, os VEBs possuem geralmente os seguintes componentes: bateria, conversor de corrente contínua, regulador de potência, motor e freio regenerativo. Na propulsão de veículos elétricos a bateria é a responsável pela energia de tração (BOSCH, 2005). O conversor de corrente transforma a corrente elétrica alternada em contínua no momento da recarga da bateria na rede elétrica. O regulador de potência é responsável por converter as posições do acelerador em valores de corrente e tensão para o motor.

O freio regenerativo é um sistema que converte a energia cinética em energia elétrica, que no momento da frenagem é armazenada na bateria (ABVE, 2009). Esforços no campo de sistemas regenerativos vêm sendo empreendidos e um grupo de pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos Estados Unidos, desenvolveu a suspensão regenerativa, que utiliza um sistema hidráulico que recupera energia através de um gerador (INOVAÇÃO, 2009).

Um dos atuais desafios dos produtores e pesquisadores de VEBs é viabilizar uma bateria que seja leve, ocupe pouco espaço, tenha grande capacidade de armazenar energia e vida útil longa (elevado número de ciclos de recarga). A bateria é um equipamento capaz de armazenar e fornecer energia elétrica a partir de reações entre compostos químicos, inventada em 1800 (CIÊNCIA, 2004) e que ao longo dos séculos sofreu diversas evoluções e mudanças. Durante a década de 1960, o campo da tecnologia espacial demandava por baterias menores, duráveis, com maiores capacidades de armazenar energia e que fossem confiáveis. Desta forma, foram feitos estudos em busca de materiais capazes de atender essa demanda. Ao longo desses estudos pela busca de uma bateria eficiente, diversos sistemas foram propostos, porém somente alguns se destacaram: chumbo-ácido, níquel-cádmio, níquel-hidreto metálico e íons-lítio.

A capacidade da bateria de chumbo-ácido absorver energia diminui com a queda de temperatura, necessitando de um aquecedor de baterias em temperaturas abaixo de 0° C.

Sua autonomia está entre 50 km e 70 km por carga de bateria, tendo uma vida útil de cinco anos, ou 700 ciclos (BOSCH, 2005).

As baterias de níquel-cádmio, além de pesadas, possuem custos de produção relativamente altos, tanto associados ao valor das matérias-primas quanto ao processo produtivo. Diversos modelos de VEBs existentes usam baterias de níquel que, apesar do alto custo produtivo, podem durar 10 anos (ou 2.000 ciclos de recarga) e a autonomia está entre 80 km e 100 km. O cádmio é um metal pesado prejudicial à saúde e ao meio-ambiente, que na confecção da bateria pode ser substituído por um hidreto metálico. Neste sentido, existe a bateria níquel-hidreto metálico (Ni-MH), com maior densidade energética e vida útil mais longa se comparado às de níquel-cádmio (BOSCH, 2005). Outro tipo de bateria que utiliza o níquel em sua composição é a de níquel-sódio, que possui a desvantagem da necessidade de se manter aquecida a 260°C. Isso faz com que a bateria se descarregue, independente do uso do veículo, numa ordem de 9,5% ao longo de um período de 24hs (CPFL, 2009).

O sistema de baterias de íons-lítio possui alta densidade energética (tabela 12), vida útil longa e boa autonomia. No entanto, para que seja um sistema seguro, é indispensável uma proteção adicional, o que eleva seu custo. Na tabela 12 pode-se observar que as baterias de íons-lítio se destacam em todos critérios técnicos, mas ainda necessita reduzir seu custo.

Tabela 12. Quadro comparativo entre tecnologias de baterias

TIPO DE BATERIA	DENSIDADE DE ENERGIA Wh/kg	POTÊNCIA W/kg	Número de ciclos	Custo US\$/kWh
Chumbo-ácido	35 a 45	250	400 a 500	160 a 210
Níquel-hidreto metálico	70	350	1.350 a 1.550	780 a 930
Níquel-sódio	90 a 125	150 a 200	1.000 a 3.000	300 a 700
Íons de lítio	150 a 200	400	1.000 a 3.500	900 a 1.200
Lítio-polímero	150	300	N/D	N/D

Fonte: NUNES, 2009

Atualmente, as baterias de níquel e as de lítio vêm conquistando espaço no mercado de VEBs e já vêm sendo utilizadas em aparelhos de alta performance como computadores portáteis, gravadores de vídeo *etc.*, no entanto, as reservas geológicas de lítio* estão

concentradas em poucos países como Bolívia (49%), Chile (27%) e China (10%). O Brasil participa com 8% das reservas mundiais estimadas deste metal, além de estar entre os dez maiores produtores (USGS, 2009).

Existe ainda outra promissora tecnologia de baterias denominada polímeros de lítio. Este tipo de bateria vem sendo utilizada em veículo elétrico ainda em testes da Volvo, na Suécia. De fato, o desenvolvimento de baterias se trata de uma verdadeira “corrida tecnológica”. Portanto, a qualquer momento pode ser divulgada a descoberta de uma nova bateria que supere as até então existentes.

O tempo de recarga e o elevado preço das baterias são dois dos desafios para tornar o VEB economicamente mais atrativo. Atualmente, o tempo requerido para recarregar uma bateria que proporciona autonomia de 100 km é de oito horas. No entanto, já se pensou numa maneira de dinamizar este contratempo com recargas: caso a bateria esteja no final de sua carga, existe a possibilidade de trocá-la por outra, em apenas 70 segundos, com carga cheia (BETTER PLACE, 2009). Isso pode ocorrer num posto de combustíveis, como se estivesse enchendo um tanque de gasolina. No Japão, isso já ocorre com uma frota de taxis. Em maio de 2009 foi inaugurado o primeiro posto de troca rápida de baterias. Outras maneiras de se diminuir o inconveniente de recarregar a bateria são: possibilidade de recarregar em estacionamentos em geral (em *shoppings*, no trabalho, em casa *etc.*) e os postos rápidos (equipamentos de alta voltagem permitem a recarga em torno de 30 minutos).

4.3.2 Indústria do Veículo Elétrico a Bateria no Mundo

Automóveis elétricos existem desde o início da década de 1837, quando o inventor escocês Robert Davidson Aberdeen criou uma carruagem elétrica. Em 1890, os veículos elétricos eram produzidos comercialmente e competiam com os veículos de combustão interna, principalmente como alternativa para transportes coletivos. A partir de então, os Estados Unidos e diversos países da Europa buscavam avançar nesta tecnologia, quando em 1899, um engenheiro belga criou um carro elétrico capaz de atingir a velocidade de 100 km/h, popularizando ainda mais a tecnologia dos carros elétricos (ITAIPU, 2009).

*Nota: Os EUA não divulgam dados sobre suas reservas e produção de lítio.

Nesta época, paralelamente, a indústria do petróleo se desenvolvia fortemente. Os grandes aumentos na produção de combustíveis fósseis estimulavam a produção dos motores de combustão interna. Na virada do século, fatores como o baixo preço dos combustíveis fósseis, evolução dos MCIs, a baixa autonomia das baterias e seus longos tempos de recarga, a ignorância em relação aos danos ambientais causados pela ampla difusão dos derivados de petróleo, a displicência sobre a questão da dependência do petróleo como fonte de energia *etc.*, desfavoreciam a indústria do veículo elétrico, que só foi retomada na década de 1970, em função da primeira crise do petróleo.

Em 1974, a empresa Gurgel apresentou primeiro protótipo de veículo elétrico latino-americano: o E-400. Em 1982 foi lançado o “ITAIPU E-500”; primeiro carro elétrico a ser produzido em série na América Latina. A responsável pelo feito fora a empresa brasileira Gurgel S.A. (OLIVEIRA, 2004). Nesta época, já se associava a viabilidade comercial do carro elétrico à evolução tecnológica das baterias, para que oferecessem menores tempos de recarga, maiores autonomia, segurança, vida útil e densidade energética. Foi então desenvolvida pela Gurgel a bateria denominada “tetrapolar”, ainda relativamente grande e pesada. Tratava-se de uma bateria de chumbo-ácido, com diferença de potencial de 12 Volts e que apresentava vantagens em relação às baterias convencionais da época. O “ITAIPU E-500” alcançava velocidade de até 70 km/h, com autonomia de 80 km (OLIVEIRA, 2004).

A General Motors (GM), lançou em 1996 o modelo elétrico “EV1”, nos Estados Unidos. No entanto, sua produção foi suspensa após a produção de 1.100 unidades em 1999.

Entre 1997 e 1999, a fabricante Honda produziu cerca de 300 unidades do modelo elétrico “EV PLUS”. Esse modelo foi comercializado principalmente na Califórnia, EUA. A produção foi encerrada para o lançamento de um modelo de veículo elétrico híbrido da fabricante.

Em maio de 2009, a fabricante norte-americana de carros elétricos Tesla Motors comemorou a entrega de seu veículo elétrico número 500 (TESLA, 2009). O veículo “ROADSTER”, que custa cerca de US\$ 110.000, possui 250 cv de potência, rotação de

13.000 rpm e freio regenerativo. Suas baterias de íons-Lítio são 100% recicláveis e podem ser recarregadas em até 3h30min. A autonomia de carga é de aproximadamente 350 quilômetros e a eficiência energética do motor está entre 85% e 95%. Além do “ROADSTER”, a fabricante está recebendo encomendas de seu novo veículo “MODEL S” a ser lançado em 2011, que possui autonomia de 480 km e velocidade máxima de 190 km/h (TESLA, 2009). Em junho 2009, o número de reservas deste modelo já ultrapassa 1.000 unidades.

Com forte apelo aerodinâmico, a empresa também americana Aptera Motors, comercializa atualmente um modelo de veículo elétrico homônimo, de visual futurista proporcionado pela sua tecnologia aerodinâmica. Sua autonomia é de 160 km e pesa apenas 680 kg (APTERA, 2009).

A Chevrolet também está testando seu modelo elétrico; o “VOLT”, com bateria de íons-Lítio, cujo lançamento está previsto para 2010. O protótipo passou por diversas mudanças, inclusive aerodinâmicas, para se chegar no atual modelo em teste (CHEVROLET, 2009). O “VOLT” possui autonomia de 64 km, deixando claro que o foco da empresa inicialmente é um público específico, o qual percorre frequentemente curtas distâncias em seu cotidiano. Esta questão da distância percorrida diariamente é fundamental para a percepção do consumidor sobre o veículo elétrico. Pesquisas nos EUA, Portugal e Brasil mostram que de 80 a 90% dos motoristas dirigem menos de 100 km por dia, o que torna o uso do VEB viável em termos de autonomia (CHEVROLET, 2009).

A empresa Mitsubishi Motors anunciou um programa de atividades ambientais em 2006, através do qual visava reduzir as emissões de gases poluentes e o aquecimento global (MITSUBISHI, 2009). Esta iniciativa levou ao desenvolvimento do veículo elétrico “iMiEV”, que até maio de 2009 estava em fases de testes. No dia 4 de junho de 2009, a fabricante anunciou a produção do “iMiEV” em grande escala no Japão (GLOBO, 2009).

A Universidade de Keio, japonesa, desenvolveu dois modelos do veículo elétrico “ELICA”. Um dos modelos está voltado para superação dos limites de velocidade e já

atingiu 370 km/h. O outro protótipo, que tem como objetivo conquistar as ruas, possui autonomia de 200 quilômetros e atinge a velocidade de 190 km/h. Ainda no Japão, a fabricante Subaru inicia a comercialização em julho de 2009 do veículo elétrico “STELLA EV”. O valor do veículo passou de cerca de R\$ 97 mil para R\$ 67 mil em função dos incentivos oferecidos pela política de governo local (SUBARU, 2009). Ainda assim é um valor relativamente alto, pois é uma tecnologia ainda incipiente, com altos custos de pesquisa e ainda não beneficiada pela produção em larga escala.

Os modelos mencionados acima são apenas alguns dos protótipos de VEBs. Em relação a estes, outras informações podem ser observadas na tabela 13.

Tabela 13. Ficha técnica de veículos elétricos a bateria

VEB	EMPRESA	BATERIA	AUTONOMIA (km)	VIDA ÚTIL BATERIA	RECARGA (horas)220v	POTÊNCIA (cv)	VELOCIDADE MÁX (km/h)	ACELERAÇÃO 0-100 km/h	PESO (kg)	PREÇO
E-500	Gurgel	chumbo-ácido	80	800 ciclos	N/D	14	70	N/D	1.600	N/D
APTERA	Aptera Motors	lítio-fosfato	160	N/D	8	18	88	N/D	680	N/D
VOLT	Chevrolet	íons-lítio	64	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	US\$ 40.000
iMiEV	Mitsubishi Motors	íons-lítio	160	10 anos ou 1.000 ciclos*	7	63	130	13"	1.080	US\$ 24.000
ELIICA	Universidade de Keio	íons-lítio	320	N/D	10	640	190	4"	2.400	US\$ 255.000
ROADSTER	Tesla Motors	íons-lítio	350	5 anos ou 160.000 km	3,5	248	200	3,9"	1.220	US\$ 101.500
MODEL S	Tesla Motors	íons-lítio	480	5 a 7 anos	4	N/D	190	5,6"	N/D	US\$ 49.900
REVAi	REVA ECC	chumbo-ácido	80	N/D	7	17	80	N/D	665	R\$ 59.000
FORTWO ED	Smart	íons-lítio	50	N/D	3-4	41	N/D	6,5"(0-50 km/h)	N/D	N/D
STELLA EV	Subaru	íons-lítio	90	N/D	5	64	100	N/D	1.010	R\$ 67.000
PALIO	Fiat	níquel-sódio	130	700 ciclos	8	37,8	110	28"	1.029	R\$ 44.000

Fonte: CHEVROLET 2009, MITSUBISHI 2009, OLIVEIRA 2004, ITAIPU 2009, APTERA 2009, TESLA 2009, REVA 2009, SUBARU 2009, SMART 2009

(N/D = INFORMAÇÃO NÃO DIVULGADA)

* Se ao final de 10 anos de uso ou 160 mil km rodados, a bateria não mantiver 80% da sua capacidade de carga original, o fabricante efetua a troca da bateria gratuitamente.

Diversos tipos de incentivos no sentido de estimular o comércio de VEBs vêm sendo propostos por governos de todo o mundo, principalmente nos EUA e Europa. Atualmente, o governo norte-americano (EUA) concede US\$ 7,5 mil de desconto na aquisição de carros elétricos. O Reino Unido, visando redução de emissões atmosféricas de carbono, também anunciou incentivos semelhantes, mas que vigoram somente a partir de 2011.

Com os objetivos de minimizar a dependência energética e as emissões de carbono, Portugal possui um projeto de implementação de uma rede de mobilidade elétrica a ser executada em 2010 (ABVE, 2009). Portugal é o terceiro país a desenvolver esse tipo de projetos, que já foram executados em Israel e na Dinamarca (ABVE, 2009). A rede consiste na instalação de 320 locais de abastecimento de veículos elétricos em 2010, sendo que a expectativa é de que esse número chegue a 1.300 unidades no longo prazo. Este planejamento acontece em paralelo a acordos estabelecidos com montadoras, que se comprometem a lançar veículos elétricos no mercado automobilístico português. Além da infraestrutura, o governo prevê conceder isenção de impostos e incentivos fiscais para VEBs.

A Holanda concentra esforços para que até 2015 existam 10.000 veículos elétricos em sua capital, Amsterdã. A expectativa é que, em 2040, a frota de veículos leves, vans e motos que circulam na capital seja quase toda movida a eletricidade. Para isso, serão feitos investimentos em construção de postos de carregamento rápido de baterias e serão concedidos benefícios aos proprietários de VEBs (GLOBO, 2009a).

4.3.3 A Atual Indústria do Veículo Elétrico a Bateria no Brasil

Em maio de 2009, a concessionária de energia AMPLA, adquiriu 3 unidades do pequeno carro elétrico indiano “REVAi”. O modelo, que passou a ser vendido no Brasil em janeiro de 2009, possui motor com potência de 13 kW (17 cv), autonomia de 80 quilômetros (com baterias de chumbo-ácido) e atinge até 80 km/h.

O Brasil possui um projeto de parcerias entre multinacionais em andamento na usina hidrelétrica de Itaipu desde agosto de 2004. A montadora FIAT vem testando versões

elétricas do modelo “Palio”. A bateria (de níquel-sódio) com intensidade de até 16 Ampéres é, parte reciclável, parte biodegradável e pode ser recarregada até 1.500 vezes em tomadas de 110/220 volts. A autonomia do Palio é de, aproximadamente, 130 km e permite o veículo alcançar a velocidade máxima de 110 km/h (HIBRIDA, 2009). Sua potência é de 28 kW (37,8 cv) a 9.000 rpm. O dinheiro gasto na aquisição de um litro de gasolina, em 2008, permitia que o Palio elétrico percorresse cerca de 45 km consumindo energia elétrica (HIBRIDA, 2009). Em 2004, umas das metas do projeto era desenvolver, em cinco anos, um veículo com autonomia de 450 km, velocidade máxima de 150 km/h e tempo de recarga de 20 minutos. O modelo em teste utiliza componentes importados, por esse e outros motivos o objetivo do projeto é que se desenvolva tecnologia de produção de carros elétricos nacionais. No entanto, na ocasião anteriormente mencionada, o ministro tocara na questão polêmica do desenvolvimento de baterias, na competitividade das baterias de lítio e que o Brasil possui baixas reservas deste metal. Outro aspecto relacionado com a viabilidade econômica são os altos impostos sobre produtos industrializados (IPI), podendo o governo intervir no sentido de prover incentivos fiscais, como redução nos impostos que incidem sobre produtores e consumidores de veículos elétricos.

Quanto ao futuro do VEB no Brasil, o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007) traz projeções para a frota brasileira de veículos leves, levando em consideração o intervalo de tempo de 2004 até 2030. Neste período, é possível observar estimativas de crescimento de mais de 250% no total da frota nacional. Os pouco menos de 20 milhões de unidades existentes no início do período (2004), podem passar de 70 milhões até 2030. As análises contidas no documento observam o declínio da participação de veículos a gasolina, que é compensado principalmente pela tecnologia *flexfuel*. Também é considerado o crescimento da frota a GNC e uma tímida participação dos veículos elétricos a bateria. Em função da alta velocidade da evolução tecnológica e certa imprevisibilidade quanto às tecnologias automotivas (em pesquisa) que despontarão efetivamente nas próximas décadas, é possível que o PNE (2007) sofra atualizações.

No caso de popularização dos VEBs, será necessário prover e distribuir energia elétrica para este segmento. Para debater este tema, o Instituto Nacional de Eficiência

Energética (INEE), realizou, no dia 31 de julho de 2009, o primeiro seminário sobre veículos elétricos e rede elétrica.

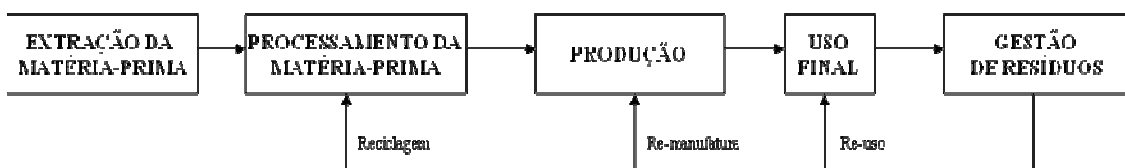
No dia 10 de junho de 2009, a Petrobrás inaugurou o primeiro posto de abastecimentos de veículos elétricos do Brasil, no Rio de Janeiro. No entanto, sob o ponto de vista comercial e prático, faltam ao Brasil incentivos governamentais que estimulem o uso dos VEBs. Por exemplo: dois terços do preço do REVAi no Brasil é relativo a cobrança de impostos, o que praticamente inviabiliza a efetiva penetração dos VEBs no mercado interno. Como foi visto, diversos países contam com incentivos para aquisição e uso do veículo elétrico. Incentivos que consideram descontos no valor de compra, isenção de taxas anuais, facilidades com estacionamento, infraestrutura de abastecimento *et cetera*.

O próximo capítulo é destinado à apresentação do procedimento baseado na ferramenta de análise de ciclo de vida (ISO 1040), que será aplicado no Capítulo 6.

Capítulo 5. Procedimento para análise do ciclo de vida de fontes de energia aplicadas ao transporte rodoviário

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

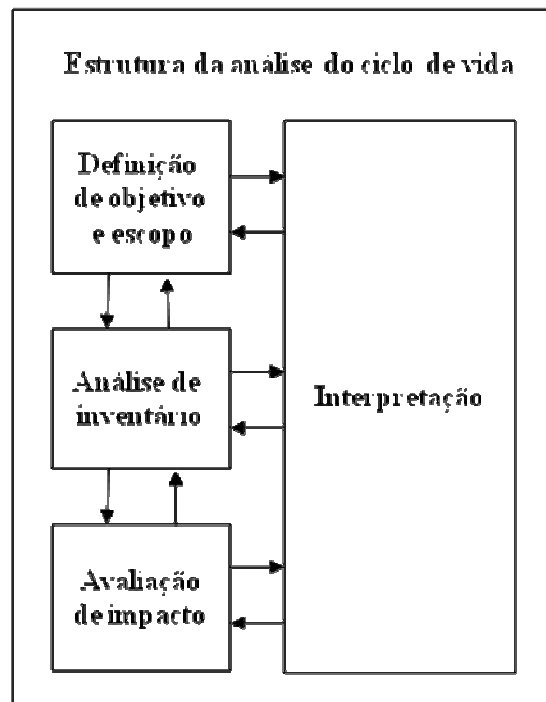
O procedimento a ser apresentado neste capítulo é baseado na ferramenta “Análise de Ciclo de Vida” (ACV), uma técnica normatizada através da NBR ISO 14040. ACV é uma ferramenta para avaliação dos aspectos e impactos ambientais ao longo dos estágios de ciclo de vida de um produto (figura 20), desde a retirada das matérias-primas da natureza, passando pelo sistema produtivo, uso final e gestão de resíduos (ou disposição final (ABNT, 2001)). Por englobar toda a cadeia de suprimentos e uso final, proporciona uma visão holística dos impactos ambientais associados a cada estágio envolvido. É uma ferramenta que, se devidamente aplicada, pode gerar subsídios de informação para análises e tomadas de decisões operacionais e estratégicas tanto no setor privado quanto no público (ALMEIDA, 1998).



Fonte: D'AGOSTO (2004)

Figura 20. Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço

As etapas da ACV contidas na norma NBR ISO 14040 podem ser vistas na figura 21. Esta norma deu origem a outras normas de caráter complementar, que detalham este método fornecendo princípios e estruturas metodológicas relacionadas ao cumprimento das etapas da ACV (ABNT, 2001). As normas são: ISO 14041 (Definição do objetivo e escopo e Análise de Inventário de Ciclo de Vida), ISO 14042 (Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida) e ISO 14043 (Interpretação do Ciclo de Vida) (ALMEIDA, 1998). Os estudos baseados na ISO 14041, que abrangem apenas as etapas de definição de objetivo, escopo e a análise de inventário, por convenção foram chamadas “Inventário de Ciclo de Vida” (ICV).



Fonte: ABNT (2001)

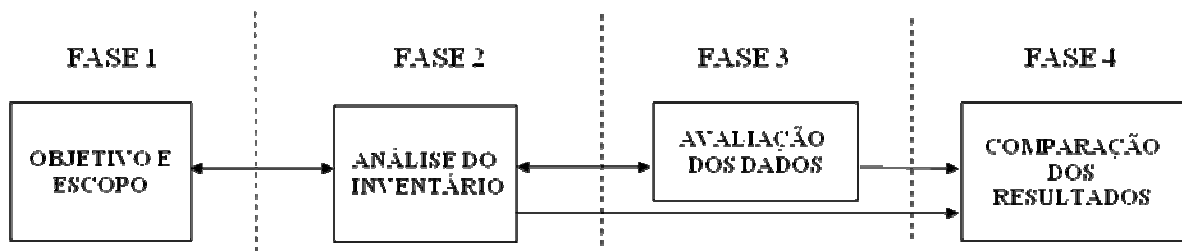
Figura 21. Etapas da Análise do Ciclo de Vida de um produto ou serviço

A partir das ferramentas de ACV e ICV, D'AGOSTO (2004) elaborou um procedimento para auxiliar na análise da eficiência energética da cadeia de suprimento e uso final das fontes de energia para qualquer modo de transporte.

Após a apresentação do procedimento proposto ao final do presente capítulo existe um levantamento feito através de busca por artigos e trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais no intuito de verificar informações que pudessem ajudar neste trabalho e até mesmo para perceber como e onde vêm sendo feitas as aplicações de ACV em transportes.

5.2 O PROCEDIMENTO

O procedimento sugerido por D'AGOSTO possui quatro fases, conforme apresentado na figura 22. Cada uma destas fases deve cumprir requisitos e conter uma série de informações que servem de base para as análises a serem feitas. Estas informações são apresentadas nos próximos itens.



Fonte: Elaboração própria, a partir de D'AGOSTO (2004)

Figura 22. Fases do procedimento para comparação de fontes de energia para transporte

5.2.1. Fase 1: Objetivo e Escopo

Objetivo

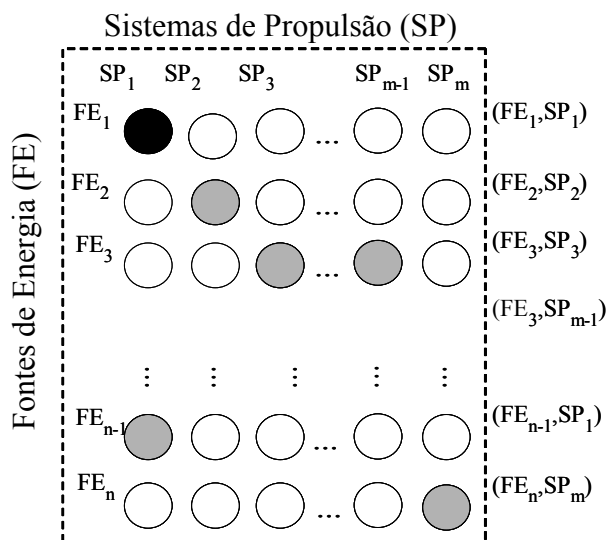
D'AGOSTO (2004) orienta para que o objetivo se desdobre em “aplicação” (fontes energéticas), “propósito” (caráter da análise: comparativa, descritiva *etc.*) e “função” (finalidade do produto ou serviço estudado). A função ao ser estabelecida, se desdobra na escolha da unidade funcional, que irá refletir na escolha das unidades dos dados a serem coletados e analisados na fase 2 (Análise de Inventário do Ciclo de Vida). Um exemplo bastante utilizado em estudos de transportes é a escolha da unidade funcional “Joule por passageiro vezes quilômetro percorrido” (J/pass*km).

Uma vez definido o objetivo, passa-se para a elaboração do escopo do estudo, onde D'AGOSTO (2004) divide em duas etapas os esforços para a sua elaboração. A primeira é referente a escolha e descrição das fontes energéticas e dos sistemas de propulsão envolvidos, levando-se em conta as abrangências geográfica, tecnológica e temporal (conforme é apresentado a seguir). A segunda etapa conta com o desenvolvimento de um modelo do ciclo de vida (MCV), com a definição das suas dimensões (“extensão”, “largura” e “profundidade”) e sua efetiva aplicação.

Escopo – Etapa 1

A primeira etapa do escopo consiste, inicialmente, em alocar as “fontes de energia” (FE) e os “sistemas de propulsão” (SP) numa matriz denominada “Matriz de Alternativas de Ciclos de Vida”, generalizada na figura 23. Desta forma, podem ser

feitas, de maneira clara, associações entre as “fontes de energia (FE)” e os “sistemas de propulsão (SP)”, que passam a receber a notação (FE, SP). As FE devem ser caracterizadas através da identificação de sua cadeia de suprimento, enquanto os SP devem ser representados através da descrição da forma de uso da energia, associado ao estágio do uso final no ciclo de vida visto na figura 20.



Fonte: D'AGOSTO (2004)

Figura 23. Matriz genérica de Alternativas de Ciclos de Vida (MACV)

Segundo D'AGOSTO (2004), cada par (FE, SP) deve ser caracterizado de modo tão específico e detalhado quanto necessário e considerar também alguns aspectos: que um SP pode utilizar mais de uma FE; que a mistura de duas ou mais FE, assim como considerar diferentes processos de produção, representa uma nova cadeia de suprimento; e que as condições de uso final devem ser explicitadas, pois modificam o desempenho dos sistemas de propulsão (D'AGOSTO, 2004).

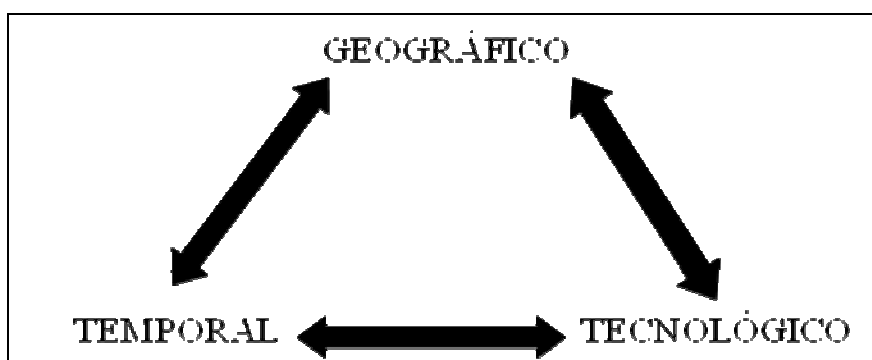
Ainda nesta etapa do escopo, deve-se atribuir a cada um dos pares definidos três limites de abrangência: geográfica, tecnológica e temporal. Essas escolhas são fortemente influenciadas pelo objetivo principal e por seus desdobramentos iniciais. O estabelecimento dos limites da abrangência deve circunscrever tanto a cadeia de suprimentos da fonte de energia, quanto seu uso final.

A abrangência geográfica é a definição de uma ou mais regiões específicas para o estudo do ciclo de vida. A delimitação desta área poderá variar de acordo com o estágio do ciclo de vida do produto ou serviço escolhido.

Quanto ao limite de abrangência tecnológica, deve-se buscar identificar as tecnologias envolvidas em cada estágio do ciclo de vida (figura 21). A partir deste levantamento, definem-se quais tecnologias serão consideradas como parte integrante na cadeia de suprimento e uso final. Vale observar que as tecnologias podem variar para cada região geográfica e dependem do momento temporal considerado.

A abrangência temporal a ser definida para o estudo está relacionada ao intervalo de tempo associado à base de dados utilizada. Muitos trabalhos utilizam, por exemplo, valores médios anuais de determinada região ou país, permitindo desta forma visualizar claramente a abrangência temporal e geográfica.

Essas três categorias de limites interagem entre si, de forma que a delimitação tecnológica também pode influenciar na escolha da região geográfica e da abrangência temporal. Da mesma forma como a escolha dos limites de abrangência tecnológica e temporal poderá eleger áreas geográficas que permitem o sucesso do estudo. A figura 24 foi elaborada para ajudar a ilustrar essa interação e interdependência entre os limites a serem estabelecidos. Em função desta interação e interdependência, é possível perceber a dificuldade de se estabelecer uma hierarquia ou regra de ordenação que conduza a um procedimento sequencial padrão que possa simplificar a elaboração desses três limites de abrangência.



Fonte: Elaboração própria, a partir de D'AGOSTO (2004)

Figura 24. Limites da Abrangência da ACV

Escopo – Etapa 2

A segunda etapa do escopo é construída a partir de informações contidas na primeira, onde é formulada uma estrutura modular denominada “modelo de ciclo de vida” (MCV). A partir de cada par (FE, SP), deve-se montar um MCV, que além de facilitar visualmente o entendimento do ciclo de vida da fonte energética em questão, traz consigo as dimensões (extensão, profundidade e largura) e os fluxos a serem considerados.

Quanto às três dimensões a serem definidas, a “extensão” indica onde a ACV se inicia e onde termina. O procedimento de D’AGOSTO (2004), assim como a ferramenta de ACV, sugerem que a extensão deva partir da extração da matéria-prima e se estender até a gestão de resíduos. A “largura” da ACV pode ser definida em três níveis: nível 1, que considera insumos e cargas ambientais diretamente associadas aos processos do ciclo de vida em estudo; nível 2, mais largo, que considera também os insumos e cargas ambientais dos insumos do nível 1; e nível 3, que considera inclusive os insumos e cargas ambientais para produção dos insumos do nível 2 e bens de capital. A “profundidade” da ACV é indicada pelo MCV através de seu grau de detalhamento, que conforme o procedimento de D’AGOSTO (2004) se escalonam em três: macro-estágios, meso-estágios e micro-estágios. A profundidade dos macro-estágios considera apenas dois estágios: a cadeia de suprimento da fonte energética e seu uso final. A abordagem em meso-estágios considera mais estágios e, portanto, propõe uma análise com detalhamento intermediário (possuindo aparência semelhante à figura 21). Ao se optar por um estudo mais detalhado, pode-se escolher a profundidade de análise em micro-estágios, onde existe a quantidade estágios que se justifique necessária para um alto grau de detalhamento dos processos envolvidos no ciclo de vida.

Numa abordagem preliminar e sob a ótica do consumo energético, D’AGOSTO (2004) propõe considerar, para cada processo do MCV, os fluxos de energia total e de gases de efeito estufa (GEE) que forem oriundos do consumo de energia.

Concluindo esta primeira fase, apresenta-se de forma esquemática os ciclos de vida das fontes de energia escolhidas como aplicação do modelo de ciclo definido nesta etapa 2 do escopo.

5.2.2. Fase 2: Inventário de Ciclo de Vida

Segundo D'AGOSTO *et* KAHN (2007), nesta fase “realiza-se a coleta de dados para cada um dos MCVs resultantes da Fase 1, ao que se denomina inventário de ciclo de vida (ICV)...”.

De acordo com o procedimento sugerido, o desenvolvimento de cada ICV deve gerar uma matriz [F] para cada ICV, onde constem os consumos de energia (na unidade funcional) para cada meso-estágio. No entanto, para se obter essas matrizes de consumos energéticos, neste trabalho especificamente, é estabelecido, primeiramente, os valores das eficiências energéticas em valores percentuais, para cada estágio do respectivo ICV, gerando as matrizes [E1] e [E2]. Essas matrizes contêm as eficiências energéticas mínima, média e máxima de cada micro-estágio, evoluindo para os valores das eficiências energéticas dos meso e macro-estágios. A eficiência de um meso-estágio é obtida a partir da multiplicação das eficiências de seus micro-estágios. Naturalmente, o mesmo ocorre com os macro-estágios. Como será visto a seguir, a partir dessas matrizes do tipo [E] e de informações sobre o respectivo uso final, será possível calcular as matrizes do tipo [F], as quais integram formalmente o procedimento de D'AGOSTO (2004). No entanto, ainda que as matrizes [E1] e [E2] não façam parte do procedimento proposto, também serão objetos de análise na fase final de comparação dos resultados. Estima-se que a obtenção e análise das matrizes do tipo [E] e [F] possa trazer uma abordagem satisfatória quanto ao uso de energia nos inventários estudados. Será possível verificar também a forte influência destes valores pelo uso final de cada alternativa.

5.2.2.1 Obtenção das matrizes de consumo energético [F]

Em função da utilização das matrizes de eficiência [E] para a obtenção de [F], seguem alguns esclarecimentos. O conceito de eficiência energética utilizado neste trabalho

pode ser compreendido através da figura 25 e das equações (6.1) e (6.2). A figura 25 mostra os fluxos da energia dentro de um processo ou estágio do ciclo de vida. Por exemplo: na atividade de processamento do gás natural, a “energia que chega” na unidade de processamento é o gás natural proveniente do transporte de matéria-prima. A queima de gás natural nos *flares* pode ser considerada como “perdas”, enquanto a demanda energética de gás e eletricidade utilizada para o processamento do GN é contabilizada como “consumo”. A “energia na saída” do processo é calculada através da equação (6.1), que nada mais é do que: a “energia que entra” no sistema, subtraída do “consumo” e da “perda” associadas a ele.

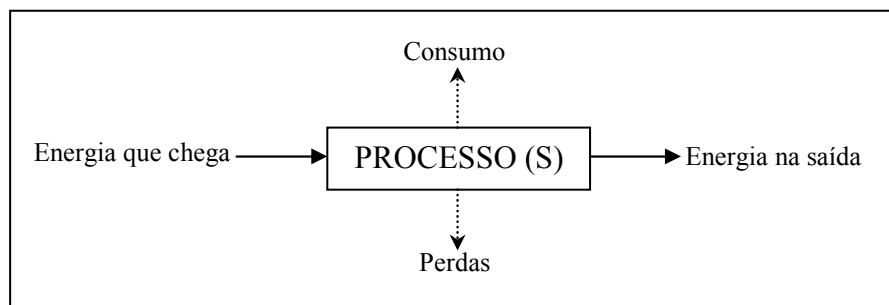


Figura 25. Fluxos de energia em processo(s) ou estágio do ciclo de vida

$$\text{Energia na saída do processo} = \text{Energia que chega ao processo} - \text{consumo} - \text{perda} \quad (6.1)$$

Neste sentido, a equação (6.2) completa o conceito de eficiência energética (E_{fe}) que será utilizado na este trabalho.

$$(E_{fe}) = \frac{\text{Quantidade de energia na saída}}{\text{Quantidade de energia que chega}} \quad (6.2)$$

Cada inventário, além de trazer as eficiências energéticas do uso final associado à fonte de energia, trará também o consumo energético por quilômetro percorrido. Tendo em vista a tabela 14 como exemplo: o consumo do uso final permitirá calcular a quantidade de energia que deverá ser provida pelo estágio imediatamente anterior ao do uso final (ex.: 12m^3 de gás natural por km = $2.073 \text{ MJ}/(\text{pass} \cdot 1000\text{km})$). Ou seja, o meso-estágio “transporte e distribuição” deverá fornecer $2.073 \text{ MJ}/(\text{pass} \cdot 1000\text{km})$ para o estágio “uso

final”. No entanto, como a eficiência do “transporte e distribuição” é de 92%, ele deverá ser suprido pelo estágio anterior a ele (“produção de GN”) com 2.253,2 MJ, pois consumirá 8% em seu processo. Fazendo esta rotina para os estágios anteriores, é possível obter o consumo energético de cada estágio através da diferença entre a saída e a entrada de energia no respectivo estágio. Esta iteração permitirá montar as matrizes [F1] e [F2] requeridas por D’AGOSTO (2004), onde constam os consumos de energia em cada estágio na unidade funcional definida no escopo; MJ/(pass*1000km). A obtenção das matrizes [F1] e [F2] a partir de [E1] e [E2] não consta, tampouco interfere, no procedimento de D’AGOSTO *et* KAHN (2007), sendo apenas um mecanismo aqui proposto para o cálculo dos consumos energéticos dos estágios dos ICVs na base funcional.

Tabela 14. Exemplo explicativo para obtenção de [F] a partir de [E]

EXEMPLO DE MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA OBTENÇÃO DE [F] A PARTIR DE [E]					
FLUXO DE ENERGIA MESO-ESTÁGIOS	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA	TRANSPORTE MP	PRODUÇÃO GN	TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO GN	USO FINAL
ENTRADA [MJ/(pass*1000km)]	2.507,3	2.392,3	2.308,6	2.253,2	2.073,0
EFICIÊNCIA %	95,4%	96,5%	97,6%	92,0%	15%
CONSUMO MJ/(pass*1000km)	115,0	83,7	55,4	180,2	1.762,1
SAÍDA [MJ/(pass.1000km)]	2.392,3	2.308,6	2.253,2	2.073,0	311,0
Participação % no consumo do ciclo de vida	5,2%	3,8%	2,5%	8,2%	80,2%

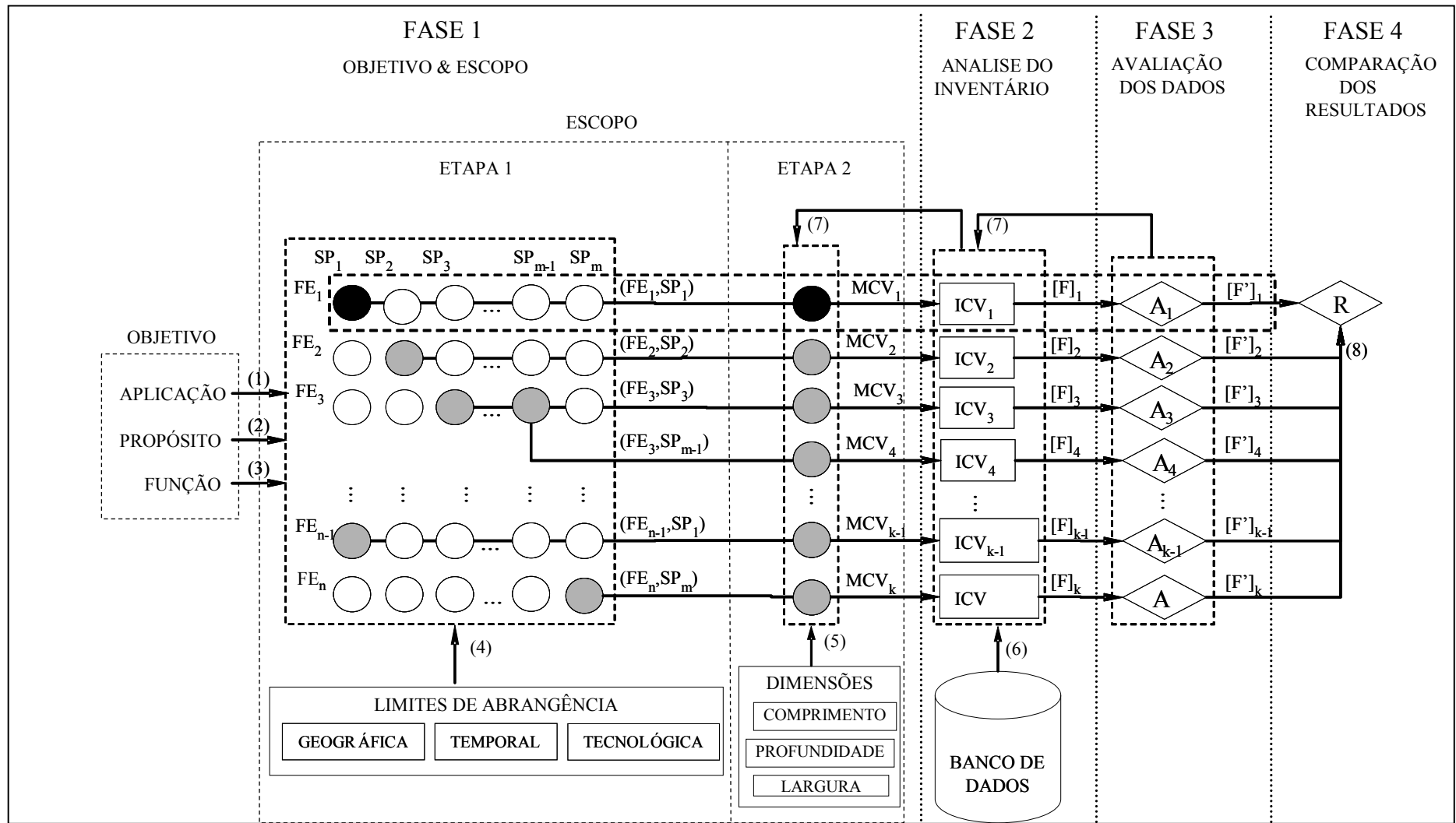
5.2.3. Fase 3: Avaliação dos Dados

A maior participação de consumo energético entre os meso-estágios de cada respectivo ICV implicará numa reavaliação das informações e dos dados de sua origem. A reavaliação será feita através de análise do referido meso-estágio sobre questões acerca da origem dos dados e até mesmo aspectos técnicos que restringem melhorias de consumo energético. A partir daí são disponibilizadas matrizes do tipo [F’], que trazem os valores de [F] reavaliados.

5.2.4. Fase 4: Comparação dos Resultados

Segundo D'AGOSTO *et* KAHN (2007), a comparação dos resultados pode seguir diversos critérios. Neste trabalho, o critério de comparação será o confronto entre as informações contidas nas matrizes [E1], [E2], [F1'] e [F2'].

A figura 26 apresenta de forma esquemática as fases do procedimento sugerido por D'AGOSTO *et* KAHN (2007).



Fonte: D'AGOSTO *et* KAHN (2007). Legenda - (1) Fontes de energia para transporte; (2) Comparar alternativas; (3) Produzir deslocamento; (4) Dados de restrição e relacionamento; (5) Limites do sistema de produto; (6) Dados para o inventário; (7) Dados para reavaliação; (8) Dados para comparação; FE: Fonte de energia; SP: Sistema de propulsão; MCV: Modelo de Ciclo de Vida; ICV: Inventário de Ciclo de Vida; [F]: Matriz de fluxos do ICV; A: Avaliação dos dados; [F']: Matriz de fluxos avaliados do ICV; C: Comparação dos resultados.

Figura 26. Detalhamento das fases do procedimento para comparação de fontes de energia para transporte

5.3. ACV APLICADA ÀS FONTES DE ENERGIA GNC E ELETRICIDADE PARA O TRANSPORTE RODOVIÁRIO

Este item complementa o Capítulo 5 com uma revisão bibliográfica (a partir de 1999 até 2009) sobre estudos de ACV e ICV aplicados às fontes de energia e sistemas de propulsão congruentes com as discutidas nesta dissertação: gás natural veicular comprimido usado em motores de combustão interna e eletricidade proveniente de termelétricas a GN utilizada em veículos elétricos à bateria. Foram selecionados 12 estudos que possuem, de alguma forma, abordagem e objetivos que se relacionam com os objetivos desta dissertação. A tabela 15 apresenta de forma sintética a revisão bibliográfica e tem como finalidade destacar as principais características destes estudos. Esta tabela é uma versão semelhante à apresentada por D'AGOSTO (2004) e D'AGOSTO *et* KAHN (2007), porém modificada e atualizada para o contexto desta dissertação.

Ainda que a maioria dos estudos de ACV aplicados a transportes pesquisados esteja voltada para os países desenvolvidos (Estados Unidos, Austrália, Alemanha, Holanda e Comunidade Européia), percebe-se também a adoção desta aplicação em países em desenvolvimento como Tailândia, Brasil e Coréia.

A tabela 15 mostra que todos os trabalhos têm o propósito de comparação. Até mesmo DINCA *et al.* (2007) que só abordam o GNC, o fazem para estabelecer uma comparação entre quatro tipos de tecnologias de geração termelétrica existentes em usinas romenas.

A abrangência tecnológica considerada pelos autores foi delimitada pela escolha das tecnologias mais usuais na época do estudo. No caso da existência de mais de um tipo de tecnologia, foram estudadas aquelas que melhor caracterizavam a realidade da região estudada. Esta manobra ocorreu principalmente em relação ao estudo no estágio de uso final, onde existiam diversos tipos de veículos.

Quanto à largura das análises, apenas ALLY *et* PRYOR (2007) aprofundaram a análise até o segundo nível. Os fluxos selecionados foram considerados não só nos processos do ciclo de vida, mas também na provisão da infraestrutura física dos processos das

cadeias de suprimento e na fabricação dos veículos. No uso final, também aplicam o segundo nível WAGNER *et al.* (2006) e GOEDECK *et al.* (2007).

Segundo DINCA *et al.* (2007), D'AGOSTO (2004) e HACKNEY *et al.* NEUFVILLE (2001), a cadeia de suprimentos é descrita considerando os processos de extração da matéria-prima, transporte da matéria-prima, produção da fonte de energia (ou processamento da matéria-prima) e distribuição da fonte energética. HEKKERT *et al.* (2003), LEE *et al.* (2004) e WAGNER *et al.* (2006) destacam apenas os processos referentes à extração, produção e distribuição. BEER *et al.* (2001) e KREITH *et al.* (2002) simplificam ainda mais considerando a cadeia em dois estágios: um englobando extração e transporte de matéria-prima, e outro referente à produção e distribuição da fonte de energia. ALLY *et al.* PRYOR (2007), ARMSTRONG *et al.* AKHURST (2000) e GOEDECK *et al.* (2007) consideram toda a cadeia de suprimento como um único estágio.

Entre os fluxos considerados, o de maior incidência é o consumo de energia, que por vezes se subdividiu em energia renovável e não-renovável. Sob o aspecto de emissões, o fluxo mais abordado pelos autores é o de dióxido de carbono, gás de efeito estufa.

Como também observara D'AGOSTO (2004) em seu estudo, existe uma grande diversidade na escolha da unidade funcional utilizada para medir os fluxos de energia que entram e saem nos estágios dos ciclos de vida. De maneira geral, prevalecem as medidas de conteúdo (GJ, MJ) e de consumo (MJ/km, GJ/pass.km).

ALLY *et al.* PRYOR (2007) fazem uma análise comparativa entre os ciclos de vida da célula combustível com GNC e diesel na Austrália. Sobre o uso final, afirmam que a tecnologia dos motores de combustão interna se encontra num estágio maduro, onde as melhorias de eficiência e em relação às emissões ficam cada vez mais difíceis de acontecer. Quando descrevem a cadeia de suprimentos da célula combustível, identificam o gás natural como uma das principais matérias-primas para geração de energia elétrica. Em suas análises o GNC se destaca com menores índices relativos de potencial de eutrofização e potencial de criação de ozônio fotoquímico.

HEKKERT *et al.* (2003) apresentam um trabalho rico em comparações entre combinações de fontes de energia e usos finais, formando 15 ciclos de vida. Os fluxos considerados são o de energia e emissão de carbono, que são aplicados na cadeia de suprimentos e uso final. Os autores usaram diversas fontes de dados para estabelecerem os parâmetros definidos nas análises energéticas e de emissões de carbono de todos os ciclos de vida, o que amplia as dimensões temporal e geográfica. Por outro lado a ampla gama de dados coletados nas fontes proporcionou que apresentassem valores de eficiência energética e emissão de dióxido de carbono considerando três critérios para a abordagem: os piores valores encontrados (menores eficiências energéticas e maiores quantidades de emissões de carbono), os valores prováveis que mais se aproximam da prática usual (buscando refletir a realidade da época do estudo), e os melhores valores encontrados nas referências bibliográficas (melhores eficiências e menores emissões). HEKKERT *et al.* (2003) e D'AGOSTO (2004) acrescentam em suas análises comparativas dos consumos de energia a distinção entre uso de fontes renováveis e não-renováveis. Ao estabelecer a análise comparativa são feitas considerações pertinentes sobre como o estado da arte em que se encontra determinada tecnologia de uso final (evoluída ou em aprimoramento) e a infraestrutura da cadeia de suprimentos voltada para a respectiva fonte energética podem influenciar as perspectivas para sua efetiva difusão na sociedade no curto, médio e longo prazos.

GOEDECK *et al.* (2007) aborda os custos associados ao uso final de veículos híbridos e com motores de combustão interna, associados aos principais combustíveis que podem abastecer seu respectivo sistema de propulsão. A partir dessas combinações entre fonte energética e uso final, os autores estabelecem a análise comparativa entre 13 alternativas de ciclos de vida sob o aspecto do custo. Uma das conclusões deste artigo é que o custo associado à baixa eficiência dos motores de combustão interna usados em veículos a GNC é compensado pelas economias associadas ao baixo preço do GN no mercado e pelos custos relativos à poluição do meio-ambiente.

HEKKERT *et al.* (2003) e ALLY *et al.* (2007) comentam a ferramenta de ACV aplicada a transportes rodoviários e mencionam que existe uma prática que vem sendo difundida no ambiente empresarial e acadêmico é o chamado *Well-to-Wheel*, que trata exatamente do estudo de fontes energéticas desde a extração da matéria-prima até o

sistema de propulsão que movimenta as rodas dos veículos. Trata-se apenas de um nome dado a aplicação da ACV para análises voltadas para transportes, que vem sendo cada vez mais consideradas em estudos neste setor. Outro nome que também vem sendo disseminado para as análises de ciclo de vida é “*from cave to grave analysis*” (análise do berço ao túmulo), ou seja, uma forma talvez mais auto-explicativa de se chamar a ACV de um produto ou serviço.

LEE *et al.* (2004) e DINCA *et al.* (2007) estabelecem inventário de ciclo de vida para o GNC como fonte de energia primária para produção de energia elétrica em termelétricas a gás natural. A ampla categoria de fluxos analisados por DINCA *et al.* (2007) não aborda diretamente os fluxos energéticos, de forma a buscar a eficiência do ciclo de vida, porém suas análises são consistentes em termos de emissões atmosféricas, consumo de água e resíduos sólidos. Com o foco na produção de energia termelétrica, a cadeia de suprimentos abrange a extração do GN, transporte, processamento e transporte para uso final. DINCA *et al.* (2007) definiram 4 termelétricas para o estudo do uso final, as quais retratam as tecnologias mais usadas no setor energético romeno.

Tabela 15. Síntese das referências selecionadas sobre aplicação de ACV para as fontes de energia GNC e termelétricidade a partir do GN

Autores	Ano	Origem	Aplicação da técnica	Objetivo			Escopo							Unidade Funcional da Energia	Critério de Alocação	Categoria de Impactos
							Abrangência			Dimensões			Fluxos considerados			
				Aplicação	Propósito	Função	Temporal	Geográfica	Tecnológica	Largura	Comprimento	Profundidade				
EIA	1999	CE	Parcial: ICV	Gasolina, óleo diesel, GLP, GNC , M100, E100, B100, HC, DME	Comparação	Produzir deslocamento	Curto prazo (1 a 5 anos) e longo prazo (15 a 25 anos)	Valores médios dos países da OECD.	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	Energia, CO ₂ , NO _x , CO, HC, MP	GJ	Não específica	Não considera
ARMSTRONG <i>et al</i> AKHURST	2000	CE	Não divulga	Gasolina, óleo diesel, GLP, GNC , M100, E100, B100, HC, eletricidade	Comparação	Produzir deslocamento	Médio prazo	Valores médios dos países da CE	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Suprimento e uso final	macro-estágios	Energia, CO ₂	MJ/km	Não específica	Não considera
BEER <i>et al.</i>	2001	Austrália	Completa: 4 fases da ACV	Gasolina Premium sem enxofre, E85, E10, GLP, GNC , GNL, B100, diesool, óleo diesel e óleo diesel GTL	Comparação	Produzir deslocamento	Curto prazo	Valores médios nacionais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	Energia, GEE e poluentes atmosféricos locais	g/t.km	Equivalente energético e mássico	Não considera
HACKNEY <i>et al</i> NEUFVILLE	2001	EUA	Parcial: ICV	Gasolina, gasolina reformulada, óleo diesel, M85, E85, M100, E100, GLP, GNC , GNL, HC, eletricidade	Comparação	Produzir deslocamento	Médio prazo (12 anos de vida dos veículos)	Valores médios nacionais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	Energia, CO ₂ , NO _x , HCNM, MP	Energia em 12 anos de vida do veículo	Equivalente mássico	Não considera
KREITH <i>et al.</i>	2002	EUA	Parcial: ICV	GNC , HC, óleo diesel GTL, M100, eletricidade	Comparação	Produzir deslocamento	Curto prazo (ano do estudo)	Valores médios nacionais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	Energia	Não divulga	Não específica	Não considera
HEKKERT <i>et al</i>	2005	Holanda	Parcial: ICV	GNC , célula combustível a hidrogênio, FT diesel, metanol, GNL e gasolina	Comparação	Produzir deslocamento	Base literária de diversos períodos a partir de 1994	Base literária de diversos países	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	Energia, CO ₂ ,	GJ		Não considera
LEE <i>et al</i>	2004	Korea	Parcial: ICV	GNC , carvão e diesel	Comparação	Produzir energia elétrica	Curto prazo (ano do estudo)	Valores médios locais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	CO ₂ , NO _x ,SO _x , água	Não se aplica		
D'AGOSTO <i>et al</i> KAHN	2007	Brasil	Parcial: ICV	GNC , diesel, gasolina, álcool hidratado e biodiesel (Soja)	Comparação	Produzir deslocamento	Curto prazo (ano do estudo)	Valores médios locais e regionais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	Energia, CO2	MJ/t e pass km/ GJ	Energia primária renovável e	Demanda de energia primária
WAGNER <i>et al</i>	2006	Alemanha	Parcial: ICV	GNC , gasolina, diesel, metanol, célula combustível a hidrogênio e diesel	Comparação	Produzir deslocamento	Curto prazo (ano do estudo)	Valores médios nacionais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível na cadeia de suprimentos e 2º no uso final	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	Energia, CO ₂ ,	MJ/ pass.km	Energia primária renovável e não-renovável	Demanda de energia primária
DINCA <i>et al.</i>	2007	Romênia	Parcial: ICV	GNC	Comparação	Produzir energia elétrica	Curto prazo (ano do estudo)	Valores médios regionais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível	Cadeia de suprimento e uso final	meso-estágios	GEE, poluentes atmosféricos locais, massa, água e energia	GJ	Upstream e Downstream	Impactos ambientais potenciais
GOEDECK <i>et al.</i>	2007	Tailândia	Parcial: ICV	GNC , diesel, gasolina, biodiesel (Palma)	Comparação	Produzir deslocamento	Curto prazo (ano do estudo)	Valores médios nacionais	Tecnologia usual na data do estudo	1º nível na cadeia de suprimentos e 2º no uso final	Cadeia de suprimento e uso final	macro-estágios	Custos financeiros	US\$	Baseado na tecnologia usual (gasolina e mci)	Não considera
ALLY <i>et al</i> PRYOR	2007	Austrália	Completa: 4 fases da ACV	GNC , diesel e célula combustível a hidrogênio	Comparação	Produzir deslocamento	ano fiscal 2004/2005	Valores médios nacionais	Tecnologia usual na data do estudo	2º nível	Cadeia de suprimento e uso final	macro-estágios	Energia, massa, CO ₂ ,	MJ/km	Equivalente energético e mássico	Potencial de aquecimento global, de acidificação, de eutrofização e de criação de ozônio fotoquímico

Capítulo 6. Aplicação do procedimento para análise do ciclo de vida de fontes de energia aplicadas ao transporte rodoviário

Este capítulo é dedicado à aplicação do procedimento apresentado no capítulo 5 para uma análise comparativa, sob a ótica da eficiência energética, entre os ciclos de vida do gás natural veicular comprimido (GNC) e da energia elétrica de origem térmica utilizada no transporte rodoviário.

6.1. FASE 1 - OBJETIVO E ESCOPO

Objetivo

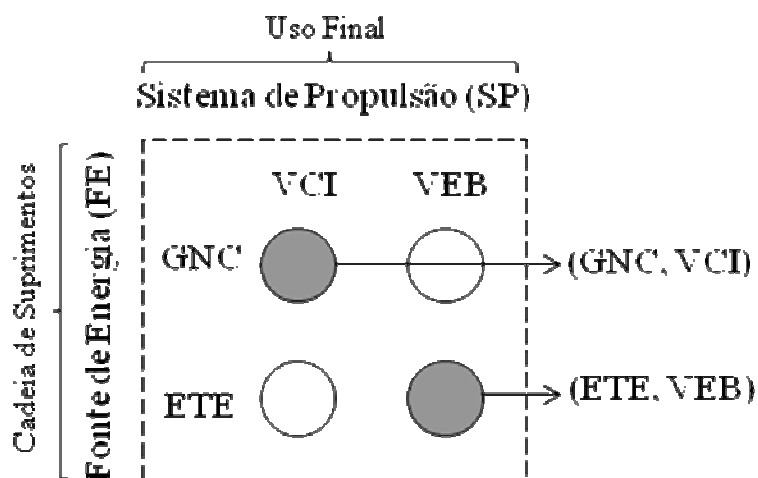
Avaliar os ciclos de vida do gás natural veicular comprimido para uso final em automóveis leves equipados com motores de combustão interna e da energia termelétrica para uso final em veículos leves com motores elétricos a bateria (*plug in*). O propósito do estudo é comparar o consumo de energia e a eficiência energética entre essas duas alternativas, tendo como função realizar trabalho na forma de deslocamento de passageiros. A unidade funcional escolhida foi MJ/(pass*1000km).

Escopo – Etapa 1

Para caracterizar a Matriz de Alternativas de Ciclos de Vida (MACV) foram escolhidos dois pares de fontes de energia (FE) e sistema de propulsão (SP). Um destes pares (GNC,VCI) é o gás natural veicular comprimido (GNC) utilizado em veículos leves¹¹ equipados com motores alternativos de combustão interna adaptados para admitir o gás natural como combustível (VCI). O outro é o par formado pela fonte de energia elétrica proveniente de termelétricas a gás (ETE) e sua utilização no sistema de propulsão de veículos elétricos leves a bateria (VEB) com sistema de transmissão mecânica, formando-se assim o par (ETE,VEB).

¹¹ são considerados veículos leves de passageiros aqueles com até 1.300kg de peso vazio, equipados com motor alternativo de combustão interna de até 80cv de potência e capacidade de carga de até uma tonelada.

A Figura 27 mostra a Matriz de Alternativas de Ciclo de Vida preenchida a partir dessas escolhas.



Fonte: Elaborado a partir do modelo de D'AGOSTO (2004)

Figura 27. Matriz de Alternativas de Ciclo de Vida (MACV)

Para estabelecer os três limites de abrangência (geográfica, temporal e tecnológica) do estudo dos dois pares da Matriz de Alternativas de Ciclo de vida (MACV) foram consideradas as informações sobre as cadeias de suprimento e os usos finais estudados nos capítulos 2, 3 e 4 desta dissertação.

a) (GNC, VCI) - a abrangência geográfica foi definida de forma a compor a cadeia de suprimentos de GNC para seu maior produtor e consumidor nacional: o estado do Rio de Janeiro. Em 2008, o Rio de Janeiro foi responsável por 40,58% do gás natural nacional produzido (ANP, 2009) e por 42,5% do gás consumido para fins automotivos (ABEGAS, 2009). Assim como 71% da produção nacional, as reservas gasíferas exploradas neste estado também estão localizadas em subsolo marinho (*off shore*) (ANP, 2009). Atualmente, todo o gás consumido neste estado é proveniente de reservas nacionais localizadas na Bacia de Campos (TRANSPETRO, 2009), litoral norte fluminense, sendo do tipo “associado” ao petróleo. Entretanto, caso haja necessidade, este estado pode ser suprido pelo gás natural importado da Bolívia através do gasoduto Brasil-Bolívia (GASBOL), o que acontece quando muitas termelétricas estão sendo operadas ao mesmo tempo em situação acima do usual. Todavia, não serão considerados

suprimentos de gás natural através de importações nem a estocagem do mesmo, pois não são práticas usuais na região de abrangência geográfica definida.

A tecnologia de transferência, transporte e distribuição de gás natural mais difundida no Rio de Janeiro, e até mesmo no Brasil, utiliza gasodutos. Sendo assim, neste estudo, a abrangência tecnológica do processo de transferência, transporte e distribuição de gás natural não cobrirá a utilização do Gás Natural Liquefeito (GNL), do gás natural comprimido em cilindros ou transportado na forma de hidratos.

A abrangência geográfica associada ao uso final será a cidade do Rio de Janeiro. O gás consumido na cidade do Rio de Janeiro chega ao mercado consumidor através dos seguintes trajetos:

i) o gás é retirado das reservas da Bacia de Campos e a parcela que não foi reinjetada, utilizada ou queimada na produção é transferida por gasodutos marítimos para Barra do Furado, a cerca de 70 km ao norte do Terminal de Cabiúnas (TECAB, onde será processado). O gás é transferido de Barra do Furado para o TECAB pelos gasodutos GASCAB I, II e/ou III. Ao chegar no TECAB, cerca de 75% do gás é processado nas UPGNs locais (em agosto de 2009, estava em torno de 74,4%) (TRANSPETRO, 2009b) e transportado à pressão de até 100bar pelo gasoduto terrestre GASDUC II até chegar aos *city gates* das distribuidoras fluminenses (CEG e CEG RIO). Estas distribuidoras são responsáveis por disponibilizar o GNC nos postos de abastecimento de veículos.

ii) Quando o GN não é processado na UPGN da TECAB, como é o caso de cerca de 25% do gás que chega ao TECAB (25,6% em agosto de 2009) (TRANSPETRO, 2009b), é transferido através do gasoduto GASDUC I (com 184 km de extensão, 16” de diâmetro e capacidade de operação de 2.500 mil metros cúbicos por dia) para ser processado nas UPGNs da REDUC (Duque de Caxias-RJ). A partir de então, o gás processado é passado para as distribuidoras CEG e CEG RIO, que viabilizarão sua distribuição e o comercializarão para todo o estado do RJ.

Em função da maior representatividade e de uma desejável aproximação com o contexto real, o primeiro trajeto (i) será adotado neste trabalho, pois atualmente é o responsável

por processar e fornecer a maioria do gás natural comercializado no estado Rio de Janeiro (TRANSPETRO, 2009b).

A exploração do GN da Bacia Campos é operada pela empresa PETROBRAS, enquanto a transferência, processamento e transporte são de responsabilidade da TRANSPETRO.

O GN transportado pelo GASDUC II é direcionado para as distribuidoras estaduais de gás do Rio de Janeiro: CEG e CEG RIO. O estado do RJ possui 4.841 km de gasodutos de distribuição, correspondente a 28,4% dos gasodutos nacionais, sendo dividida entre as duas companhias: 23,4% da CEG e 5% da CEG RIO (GASNET, 2009). Essas empresas distribuem GNC para os 487 postos de abastecimento de gás natural veicular comprimido do estado (402 pela CEG e 85 pela CEG RIO), que constituem a maior infra-estrutura do país para este segmento (GASNET, 2009). As discrepâncias entre os números que envolvem estas duas distribuidoras ocorrem porque a área de atuação da CEG é a região metropolitana do Rio, enquanto a CEG RIO distribui para o interior do estado (VAZ *et al.*, 2008), onde o perfil de consumo de GN tende a ser para uso industrial e geração de energia. Em função do objetivo deste trabalho, a etapa de distribuição envolverá apenas o gás comercializado pela distribuidora CEG.

O estado do Rio de Janeiro possui 187 oficinas credenciadas para instalar o sistema (*kit gás*) que adapta veículos leves a gasolina, a álcool ou *flexfuel* para admitirem GNC como combustível (INMETRO, 2009). Além de líder em número de oficinas, o estado também possui a maior frota de veículos leves adaptados para GNC do Brasil (688.702 unidades), com 44% do total (GNV, 2009). Esta frota possui maior concentração nas áreas urbanas, principalmente na capital, assim como os postos de abastecimento de GNC e oficinas de instalação do *kit gás* (ABEGAS, 2009).

A abrangência da tecnologia do uso final (VCI) a ser considerada, está calcada no perfil da frota carioca de veículos leves existente, que considera motores alternativos de combustão interna de ignição por centelhamento e quatro tempos - ciclo Otto (D'AGOSTO, 2004). Deverão ser considerados também aspectos técnicos (autonomia, velocidade máxima, potência do motor, peso, entre outros) que se aproximem da tecnologia escolhida para o VEB a fim de se comparar usos finais com perfil

semelhante. A temporalidade associada é, sempre que possível, o momento presente do estudo, tanto para a cadeia de suprimentos do GNC quanto seu uso final associado.

b) (ETE, VEB) - tem sua origem também na exploração e produção de gás natural na Bacia de Campos. As etapas de exploração, produção, transferência, processamento, transporte e distribuição de GN são as mesmas do ciclo (GNC, VCI), com a diferença que o gás processado passa a ser destinado para termelétricas a gás localizadas no estado do Rio de Janeiro.

Em 2008, 66% do gás natural consumido no estado do Rio de Janeiro foi para fins de geração e cogeração de energia elétrica do país (ABEGAS, 2009). As quatro termelétricas mais potentes do país utilizam o gás natural como combustível (tabela 16) e estão localizadas no RJ, constituindo assim o maior parque de geração de energia elétrica a partir de termelétricas a GN do país (ANUÁRIO, 2009). Estas usinas fazem parte do Sistema Interligado Nacional (SIN) e são por ele classificadas como “Produtoras Independentes de Energia” (PIE), o que significa que existe autorização para que parte ou o total da energia produzida seja comercializado e assim seja transmitida e distribuída ao consumidor final.

Tabela 16. Principais termelétricas a GN no estado do Rio de Janeiro

Termelétrica	Capacidade MW	Município	Proprietário
TERMORIO Governador Leonel Brizola	1058	Duque de Caxias	Petróleo Brasileiro S.A.
TERMOMACAÉ Mário Lago	923	Macaé	Petróleo Brasileiro S.A.
UTENF - Norte Fluminense	869	Macaé	Usina Termelétrica Norte Fluminense S.A.
Santa Cruz	766*	Rio de Janeiro	Furnas Centrais Elétricas S.A.

Fonte: ANEEL (2009)

*Nota: em ampliação para 950 MW (ELETROBRAS, 2009)

A abrangência tecnológica do processo de produção de energia elétrica deverá estar de acordo com as práticas mais usuais e as tendências na produção de energia termelétrica a gás no estado, que neste caso converge com tendências no país. Foi mencionado no

capítulo 3 que os projetos de expansão do parque termelétrico brasileiro estão calcados no gás natural como combustível em sistemas a ciclo combinado. Neste caso, seriam selecionadas termelétricas de ciclo combinado e não as de ciclo simples e/ou cogeração. Sempre que possível deverão ser utilizados dados cuja abrangência temporal seja o período de estudo, numa tentativa de preservar a contemporaneidade da análise.

Para o estabelecimento de limites de abrangência geográfica e coordenação de idéias do estudo, supõe-se que a energia elétrica gerada seja distribuída pela LIGHT S.A., empresa que distribui e comercializa energia elétrica para o município do Rio de Janeiro. Para efeito comparativo entre os ciclos de vida aqui estudados, é conveniente admitir que a energia elétrica produzida vá efetivamente para a rede elétrica da cidade do Rio de Janeiro, e seja disponibilizada nas tomadas de força residenciais da cidade e do primeiro posto brasileiro de abastecimento de veículos elétricos, localizado no bairro carioca da Barra da Tijuca. No entanto, sabe-se que a energia disponibilizada na rede não possui “rótulo de procedência”. Para a cadeia de suprimentos, a abrangência temporal dos dados será o histórico de 2008 ou informações colhidas e válidas para o tempo corrente do estudo.

A tecnologia veicular associada ao uso final da energia elétrica deverá ser escolhida de acordo com alguns aspectos. Um deles é que seja passível de comparações com o veículo equipado com motor de combustão interna escolhido para a alternativa de ciclo de vida (GNC,VCI). A temporalidade associada para o uso final é o momento presente do estudo, pois a tecnologia do VEB passa por um momento histórico que favorece seu desenvolvimento, fazendo com que qualquer passado recente possa representar tecnologias obsoletas. Constantes aprimoramentos vêm sendo feito em VEB, assim como são promovidos congressos e feiras em torno dos assuntos que envolvem o veículo elétrico. Por essa razão, após a abordagem sobre veículos elétricos feita no capítulo 4 foi verificado que a tecnologia de baterias de lítio é a mais adequada para manter a contemporaneidade do estudo, pois possui maior densidade energética além de ser a mais difundida atualmente pelos fabricantes de VEB. A abrangência geográfica para a tecnologia de VEB é análoga a do VCI (cidade do Rio de Janeiro), porém, de forma hipotética, em função da incipiência em que se encontra o mercado mundial, e conseqüentemente local, de veículos elétricos.

Escopo – Etapa 2

Esta etapa apresenta, num primeiro momento, os modelos de ciclo de vida (MCV) associado aos pares (GNC, VCI) e (ETE, VEB). Estes modelos foram elaborados a partir da adequação das informações apresentadas no estudo das cadeias de suprimento (capítulos 2 e 3) e usos finais (capítulo 4) das fontes energéticas considerando as abrangências geográfica, temporal e tecnológica apresentadas na etapa 1 deste escopo. A figura 28 apresenta o modelo do ciclo de vida (MCV) associado à alternativa (GNC, VCI).

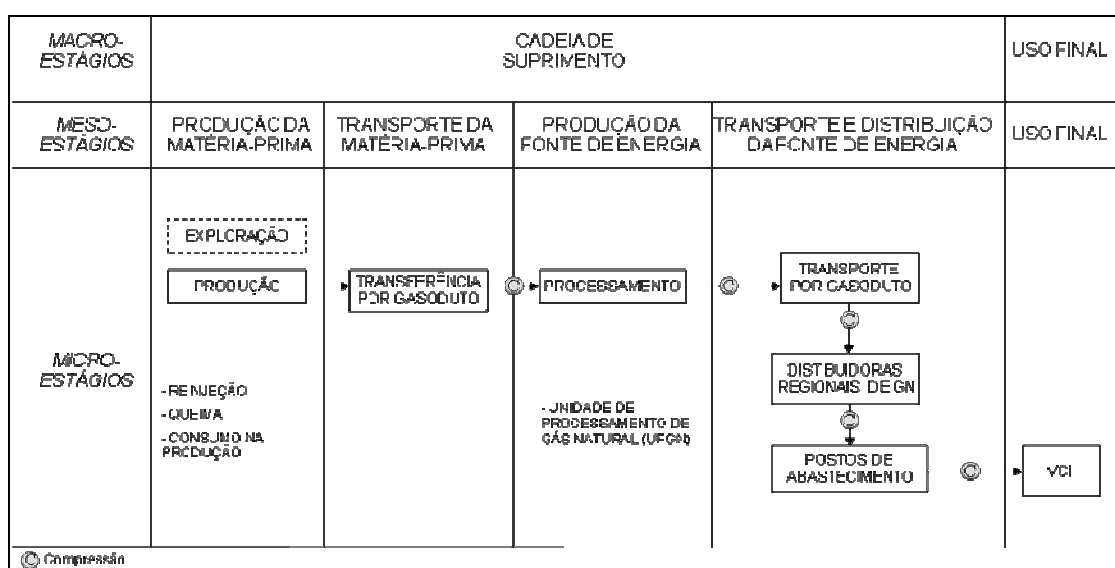


Figura 28. Modelo de Ciclo de Vida (MCV) associado à alternativa (GNC, VCI)

A figura 29 apresenta o modelo do ciclo de vida (MCV) associado à alternativa (VEB, ETE).

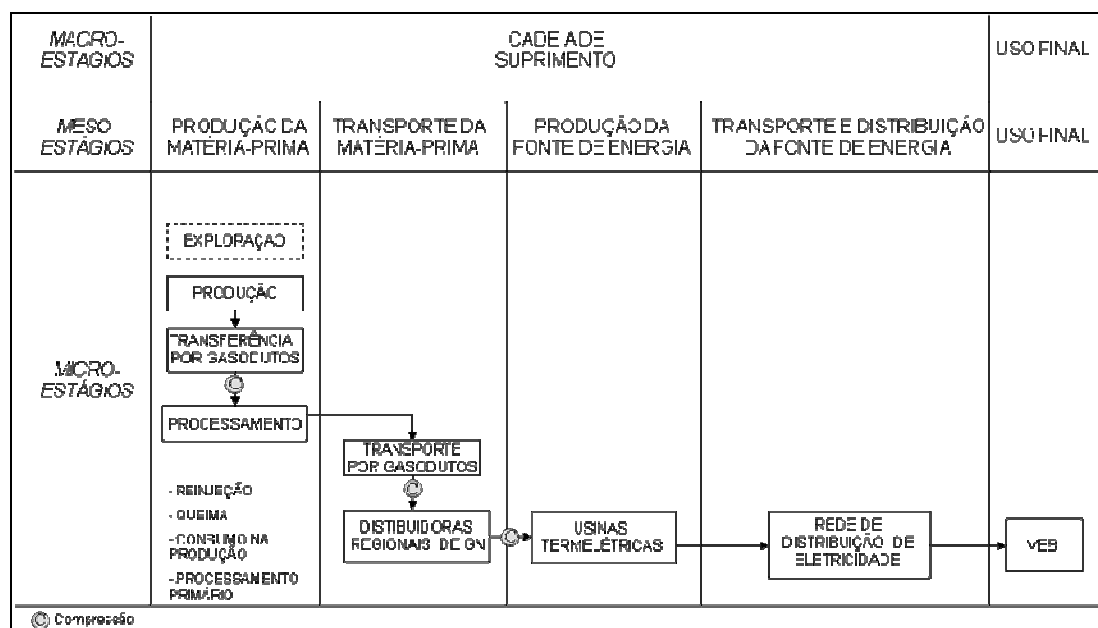


Figura 29. Modelo de Ciclo de Vida (MCV) do par (ETE, VEB)

Assim como no estudo de D'AGOSTO (2004), os dois modelos de ciclos de vida apresentados neste item se “estendem” desde o meso-estágio da produção de matéria-prima até ao de uso final. A “largura” foi dimensionada de acordo com o nível 1, que considera a eficiência energética diretamente associada aos processos do ciclo de vida dos modelos definidos. Para efeito de análises comparativas entre ciclos de vida, D'AGOSTO (2004) indica como “profundidade” mais adequada os meso-estágios, pois permite melhor equidade de comparação entre alternativas. Ainda assim os esforços devem conduzir para uma abordagem mais completa, que abranja também os micro-estágios, sempre que possível.

6.2. FASE 2 – INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

As informações da etapa 1, associadas à aplicação dos modelos de ciclo de vida (figuras 28 e 29), geraram os ciclos de vida apresentados nas figuras 30 e 35. Cada inventário pode ser dividido em macro, meso e micro-estágios, compostos por um ou mais processos¹². Os inventários trarão os valores de eficiência energética de cada estágio. Essa eficiência é calculada através do balanço de energia do processo ou é retirado diretamente de bibliografia específica ou levantado a partir de entrevistas com profissionais da área.

¹² Será utilizado o conceito de “processo” abordado por D'AGOSTO (2004): “Um processo é um conjunto de atividades que transforma recursos em produtos”

6.2.1 Inventário do ciclo de vida do par (GNC,VCI) - ICV₁

A figura 30 mostra o percurso e as etapas que o GN deverá percorrer desde o reservatório gasífero até estar disponível para a combustão nos motores de combustão interna dos veículos. O inventário trará a eficiência energética de cada etapa ou processo envolvido em seu respectivo ciclo de vida do produto.

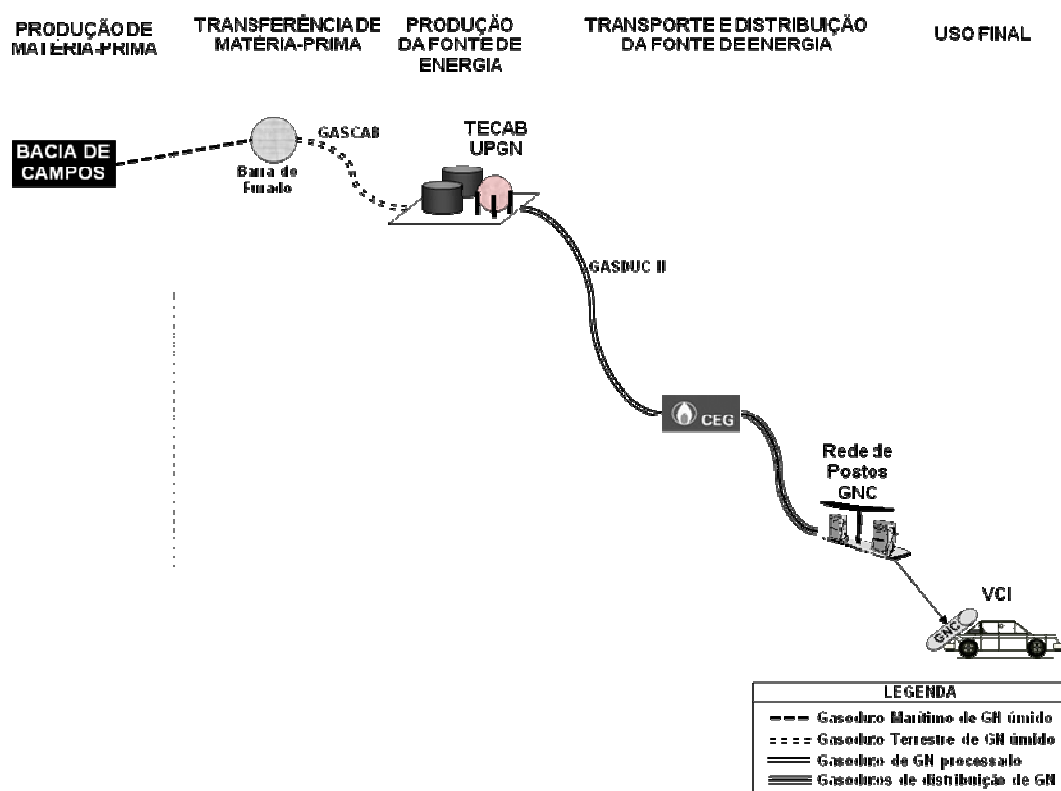


Figura 30. Ciclo de Vida associado ao par (GNC, VCI)

a) Produção da matéria-prima

Serão consideradas neste meso-estágio as atividades de exploração e produção de gás associado na Bacia de Campos. O levantamento de dados da produção de petróleo na Bacia de Campos foi feita com base no Relatório Sobre Conservação de Energia no Sistema Petrobras, elaborado pela Coordenadoria de apoio ao CONPET (Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural) que apresenta o histórico de consumo de energia no período de 1990 a 2003 para as atividades de perfuração e produção na Bacia de Campos (BC) (Petrobras-CONPET,

2003). Esforços foram feitos para se ter acesso a dados mais recentes. Através das publicações da ANP seria possível acessar dados mais atuais sobre a produção e exploração na Bacia de Campos, porém não foram encontradas fontes públicas ou privadas sobre os consumos de energia associados aos dados de produção. Desta forma, o levantamento dos dados ficou limitado ao período de 1999 a 2003.

A produção de energia da Bacia de Campos é apresentada na tabela 17. Foi considerado como gás natural produzido, a parcela disponível para ser transferida para processamento nas UPGNs. As parcelas de gás natural queimado, reinjetado e consumido na produção foram consideradas como consumo energético na atividade de produção. O período analisado apresenta crescimento da produção de energia nesta bacia ao longo dos anos.

Tabela 17. Produção de energia na Bacia de Campos

Ano	Petróleo e Condensado [m ³]	LGN* [m ³]	GN Produzido Disponível** [10 ³ m ³]
1990	25.897.917	364.440	1.298.941
1991	26.411.415	411.655	1.413.345
1992	26.266.839	488.320	1.746.133
1993	27.774.227	389.130	1.733.100
1994	29.715.413	425.150	1.706.696
1995	30.455.614	409.300	1.999.896
1996	35.070.648	455.754	2.191.377
1997	38.755.189	599.056	2.207.203
1998	46.446.184	632.982	2.307.953
1999	54.947.719	655.900	2.711.956
2000	57.035.135	695.707	2.513.069
2001	60.487.440	589.189	2.416.293
2002	69.682.707	810.278	3.578.055
2003	70.946.033	1.245.240	3.896.134
Média	42.849.463	583.722	2.265.725
GJ	1.615.788.970	15.170.922	96.833.238

Fonte: D'AGOSTO (2004), Petrobras-CONPET (2003).

Legenda: LGN – Líquido de Gás Natural; GN – gás natural;

Nota: *LGN é a “Parte do gás natural que se encontra na fase líquida em determinada condição de pressão e temperatura na superfície, obtida nos processos de separação em campo, em UPGNs ou em operações de transferência em gasodutos. Portaria ANP nº 9, de 21/01/2000.”

**GN produzido disponível, é o GN disponível para transferência (GN produzido menos as parcelas reinjetado, queima e consumo).

A tabela 18 apresenta o consumo de energia associado à exploração e produção de petróleo e gás natural na Bacia de Campos. Foram incluídos como consumo: óleo diesel (exploração e produção), o gás reinjetado e queimado (produção), além do gás e a energia elétrica efetivamente consumidos na produção.

Tabela 18. Consumo de energia na Bacia de Campos

Ano	Exploração (Perfuração)	Produção				
	Óleo Diesel [tEP]	Óleo Diesel [tEP]	GN Reinjetado* [tEP]	GN Queima** [tEP]	GN Consumo*** [tEP]	E.E. [MWh]
1990	81.791	110.379	45.937	796.249	330.217	11.451
1991	96.579	116.053	133.152	736.331	356.182	12.473
1992	117.022	97.022	8.322	555.910	372.493	12.892
1993	113.199	113.199	20.306	588.865	402.119	13.435
1994	84.595	125.883	34.620	618.824	428.749	13.656
1995	52.322	152.172	53.261	560.237	448.722	14.788
1996	103.199	133.725	49.599	691.725	522.289	15.432
1997	148.628	158.442	55.258	911.093	555.910	15.781
1998	181.590	201.025	108.519	1.309.550	621.487	16.753
1999	230.653	268.250	127.875	1.578.739	861.852	18.465
2000	198.457	243.937	156.503	1.750.701	1.018.457	24.970
2001	210.469	258.703	123.205	2.077.221	1.039.031	26.482
2002	242.465	298.031	173.500	1.716.216	1.127.444	30.507
2003	246.861	303.434	127.391	1.151.954	1.241.440	31.060
Média	150.559	184.304	86.961	1.074.544	666.171	18.439
GJ	6.299.401	7.711.276	3.638.430	44.958.918	27.872.589	66.380

Notas: * – GN reinjetado no poço; ** - GN queimado nas tochas (*flares*); *** – GN consumido para geração de energia.

Entre os demais produtos da produção na Bacia de Campos, o GN representou 5,6% da energia recuperada. Desta forma, este foi o peso atribuído ao consumo energético requerido para explorar e produzir GN na Bacia de Campos. A eficiência energética média apresentada na produção foi de 95,7% (tabela 19), e 99,7% na etapa de exploração. Para o meso-estágio “produção de matéria-prima”, que engloba as etapas de exploração e produção, a eficiência energética média foi obtida multiplicando-se as eficiências médias desses dois processos, o que resultou no valor de 95,4%.

Tabela 19. Eficiência energética na Bacia de Campos

Eficiência Energética	Mínima	Média.	Máxima
Exploração	99,6%	99,7%	99,8%
Produção	92,9%	95,7%	97,1%
Eficiência Energética E&P	92,5%	95,4%	96,9%

b) Transferência da matéria-prima

A transferência do gás não-processado entre Barra do Furado e Cabiúnas é feita através dos gasodutos GASCAB I, II e III (com 67km de extensão e 18”, 20” e 22” de diâmetro, respectivamente) onde existe estação de compressão capaz de elevar a pressão do gás em até 100kgf/cm².

Como já foi mencionado, a responsabilidade pelo transporte do GN é a empresa Transpetro, onde foi possível levantar que para um determinado volume de gás a ser transportado, consome-se de 3 a 6% (TRANSPETRO, 2010a) deste volume no abastecimento dos compressores. A eficiência energética média calculada para essa operação foi de 96,5% (tabela 20).

Tabela 20. Eficiência energética do processo de transferência de matéria-prima

TRANSFERÊNCIA MP		
Mín.	Méd.	Máx.
95%	96,5%	98%

c) Produção da fonte de energia (GN)

O GNC transferido da Bacia de Campos é processado no Terminal de Cabiúnas (TECAB), na Unidade de Processamento de Gás Natural com capacidade de processar 20,3 milhões de metros cúbico de GN por dia (TRANSPETRO, 2010b). Esta é a maior planta, em termos de capacidade, para processamento de gás natural do país e, segundo a TRANSPETRO (2010a), está sofrendo expansão para ampliar sua capacidade para 23

milhões de metros cúbicos por dia até 2011. Nesta UPGN, o gás natural processado dá origem à gasolina natural (C_5^+), ao líquido de gás natural (LGN), ao gás liquefeito de petróleo (GLP) e ao gás natural no estado gasoso, já dentro das especificações para comercialização. Esta unidade produtiva também consome em seus processos o gás que produz, além de consumir também energia elétrica.

A eficiência energética desta planta de processamento foi calculada através de dados fornecidos por diferentes áreas da Transpetro (TRANSPETRO 2010a) (TRANSPETRO, 2010c). A partir desses dados foi possível estabelecer o balanço de massa e energia da unidade produtiva em questão (tabela 21).

Tabela 21. Balanço de massa, de energia, e eficiência energética da UPGN de Cabiúnas

Fluxos	Descrição		10 ³ [m ³ /dia]	Massa [10 ³ kg/dia]	Energia [10 ³ MJ/dia]	
Entradas	Matéria-prima	GN processamento	12.100	11.359	517.133	
		En.Elétrica			1.901	
Saídas	Subprodutos	GN processado	10.300	7.287	337.559	
		C5+	0,5	375	16.376	
		GLP	0,9	497	23.488	
		LGN	5	2.900	129.950	
Perdas	Queima de GN		60	44	2.015	
Consumo	Consumo En.Elétrica				1.901	
	Consumo de GN		250	181	8.397	
Entrada da UPGN				11.359	519.034	
Saída da UPGN				11.283	506.721	
Diferença				-0,7%	-2,4%	
Eficiência energética = $\frac{\text{Quantidade de energia na saída}}{\text{Quantidade de energia que chega}}$ = $\frac{506.721}{519.034}$						= 97,6%

Fonte: Elaborado a partir de dados levantados em TRANSPETRO (2010a), (2010c).

*Nota: 66,81% é a parcela de energia dos subprodutos equivalente ao GN processado. Os valores usados para as conversões feitas neste trabalho se encontram no ANEXO VII.

O gás natural para processamento, após passar pela UPGN, gera os seguintes subprodutos: gás natural processado (basicamente metano e etano, em estado gasoso), líquido de gás natural (LGN), gás liquefeito de petróleo (GLP) e gasolina C_5^+ . A eficiência energética dessa planta de processamento de GN foi calculada a partir das equações 6.2 e 6.1, do Capítulo 5. Foram consideradas a energia que entra no processo (GN para processamento e energia elétrica), o consumo energético (GN consumido e

energia elétrica), a perda do gás queimado nas tochas e a energia contida nos subprodutos gerados com o processamento do gás natural. O valor encontrado foi 97,6% de eficiência energética (tabela 21).

d) Transporte e distribuição da fonte de energia

O transporte de gás natural comprimido pode ser dividido em três etapas principais: o transporte a longas distâncias (d'); a distribuição do GNC (d''), e uma terceira etapa (d''') que constitui no abastecimento do VCI.

d') Transporte a longas distâncias:

O transporte do gás natural processado em Cabiúnas para as termelétricas do estado do Rio de Janeiro é feito através do gasoduto GASDUC II (182 km de extensão e 20" de diâmetro).

O gás natural é comprimido nas estações de compressão de Cabiúnas e Silva Jardim (compressão intermediária, que elevam a pressão do gás entre 90 e 95kgf/cm² (TRANSPETRO, 2010a). Em função das perdas de carga ao longo do gasoduto, a pressão vai diminuindo, o que acarreta na perda de vazão e afeta a capacidade de escoamento do GN. Por isso, ainda que a compressão em Cabiúnas fosse suficiente para que o GN chegasse em seu destino na pressão adequada, foi instalada uma nova estação de compressão em Silva Jardim, a 90km de Cabiúnas. Essa medida ampliou a capacidade do GASDUC II de 8 milhões de m³/dia para 10,5 milhões de m³/dia. O gás transportado pela GASDUC II chega aos *city-gates* das distribuidoras locais (CEG e CEG RIO) em Duque de Caxias – RJ (REDUC) com pressão entre 45 e 55 kgf/cm² (TRANSPETRO, 2010a).

A gestão operacional (acionamento e desligamento de válvulas, controle de vazão, execução da programação de transportes *etc.*) deste gasoduto é feita pela Transpetro, onde funciona o Centro Nacional de Controle Operacional (CNCO). Foi verificado que para um determinado volume qualquer de gás a ser transportado, gasta-se de 3 a 6% deste volume nos compressores de Cabiúnas (centrífugos) e ainda 2% nos compressores

(alternativos) intermediários localizados em Silva Jardim (TRANSPETRO, 2009). Levando em consideração estes dados, a eficiência energética do transporte de GN da UPGN de Cabiúnas até o centro urbano do RJ é de 93,5% (tabela 22).

Tabela 22. Eficiência energética na atividade de transporte de GNC

COMPRESSÃO TECAB (Cabiúnas)		
Mín.	Méd.	Máx.
94%	95,5%	97%
COMPRESSÃO INTERMEDIÁRIA		
98%		
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA TRANSPORTE GN		
92%	93,5%	95%

Não foram divulgados valores sobre emissões fugitivas (vazamentos não intencionais de gás em gasodutos, válvulas, e outros equipamentos (SALGADO, 2007), porém esse valor é controlado e não possui dimensões capazes de influenciar consideravelmente a eficiência do transporte (TRANSPETRO, 2009). De qualquer forma, essas emissões de GN são indesejáveis e contribuem, ainda que minimamente, com a diminuição da eficiência energética no que tange a cadeia de suprimentos do ICV₁, pois são consideradas perdas no processo de transporte de GNC.

d'') Distribuição:

A empresa distribuidora de GNC na região metropolitana do Rio de Janeiro é a CEG, com 82,39% dos 4.841 km de gasodutos de distribuição existentes no estado. Sua participação em volume de GNC comercializado do estado em 2008 foi de 82,67% (GASNET, 2009) (ABEGAS, 2009).

A compressão do gás na etapa anterior (transporte) faz com que o gás chegue aos *city-gates* da distribuidora CEG numa pressão entre 30 e 40 kgf/cm² (CTGAS, 2010), que deve ser reduzida em estações de descompressão. Essa redução ocorre por questões físicas, sempre que o gás passa de dutos maiores para dutos menores. A rede de gasodutos de distribuição da CEG opera com taxas de compressão entre 5 e 8 kgf/cm²

(GASNET, 2010). O processo de descompressão não consome energia (CEG, 2010), portanto sua eficiência energética é 100%.

Para ser armazenado nos cilindros dos veículos equipados com motores de combustão interna, o gás que chega aos postos de abastecimento entre 5 e 8 kgf/cm² deve ser comprimido a pressões entre 200 e 250 kgf/cm² (GASNET, 2009) (ABEGAS, 2009), como será visto a seguir.

d''') Abastecimento:

Os postos de combustíveis vêm agregando, cada vez mais, outros serviços que são fontes de consumo de energia elétrica, como lojas de conveniência, lanchonetes, videolocadoras, lava-jato *etc.*. No entanto, neste trabalho, a atividade fim de um posto de GNC ainda é o abastecimento de veículos, por isso será considerado o consumo de energia elétrica associada unicamente aos compressores para o abastecimento de GNC.

O abastecimento do veículo é efetuado num dos 402 postos de GNC abastecidos pela CEG (GASNET, 2009). A pressão de entrada (pressão disponibilizada na linha de distribuição para postos de GNC) pode variar em função da sua distância em relação aos *city-gates* (mais próximo aos *city-gates* a pressão tende a ser maior, diminuindo ao longo da rede). Sendo assim, quanto mais distante é o posto de abastecimento, tende-se a gastar mais energia na compressão do gás entre 200 e 250 kgf/cm².

Para este trabalho foi feita uma pesquisa de campo num posto de abastecimento, em São Cristóvão (bairro do Rio de Janeiro) localizado na Avenida Brasil (via com alto fluxo de veículos), foi verificada a utilização do compressor da marca ASPRO. Segundo D'AGOSTO (2004), a pressão de entrada de 8 atm (8,26 kgf/cm²), pressão de saída de 250 atm (258 kgf/cm²) e vazão de 1.000 m³/h caracterizam a realidade dos postos de abastecimento de gás no Rio de Janeiro. Os dados de vazão, e pressão de entrada e saída supracitados foram encaminhado para o setor de engenharia elétrica do fabricante de compressores ASPRO (ASPRO, 2010) a fim de levantar seu consumo de energia elétrica por m³ de gás comprimido para se calcular sua eficiência energética (tabela 23).

Tabela 23. Consumo de energia para compressão de GN.

Compressor Aspro ²	CONSUMO	kWh/m ³	MJ/m ³	Eficiência Energética
	Máx.	0,20	0,72	98,1%
	Méd.	0,17	0,61	98,4%
	Mín.	0,14	0,50	98,6%

Nota: 1kWh=3,6 MJ, GN processado = 37,321 MJ/m³

e) Uso final (VCI)

Um veículo adaptado para GNC deve incluir diversos equipamentos que constituem o *kit gás*, como foi visto no capítulo 4. Esta adaptação, além de reduzir o desempenho (km rodados/m³) do veículo em cerca de 15% (D'AGOSTO, 2004), também tem seu peso aumentado em função do cilindro onde é armazenado o gás. Em veículos leves populares, usualmente são instalados cilindros cujo tamanho está na ordem de 8m³ ou 10m³ (DELLGAS, 2010). Em função de proporcionar maior autonomia, foi escolhido o cilindro com capacidade de 10m³, que carregado pesa em torno de 50kg (DELLGAS, 2010) e trabalha com a pressão de 250atm.

A fim de manter as diretrizes definidas no escopo (abrangência tecnológica) sobre a equivalência entre os tipos de veículos que compõem os usos finais de ambos os ciclos de vida, foi feito um esforço para escolher um modelo de veículo com motor de combustão interna e um veículo elétrico a bateria que tivessem características parecidas. Ao mesmo tempo, entende-se que é desejável que o VCI escolhido possua aspectos técnicos (potência, peso, cilindrada *etc.*) capazes de refletir o perfil da frota carioca.

A tabela 24 mostra uma seleção de informações técnicas relativas aos principais tipos de veículos populares comercializados no país.

Tabela 24. Informações técnicas sobre veículos populares utilizados no Brasil

VEÍCULO	MOTOR	POTÊNCIA (cv) G/A	85% POTÊNCIA (cv) GN	VEL. MÁX (km/h)	PESO (kg)	PESO + cilindro de 10 m ³ (kg)
PALIO	1.0	73/75	62	155	940	990
GOL	1.0	72/76	61	165	934	984
UNO	1.0	65/66	55	150	820	870
CORSA	1.0	77/79	65	160	1.015	1.065
CELTA	1.0	77/78	65	155	880	930
FIESTA	1.0	69/73	59	145	1.076	1.126
KA	1.0	69/73	59	150	920	970
FOX	1.0	72/76	61	160	996	1.046
MÉDIA		72/74,5	61	155	950	1000

Legenda: G-Gasolina, A-Álcool

A Folha do GNV (FOLHA, 2009a) é uma publicação internacional que traz mensalmente, entre outras informações, uma tabela com parâmetros de consumo de GNC por um carro popular. A publicação indica que um carro do tipo popular faz, em média, 12 km por metro cúbico de gás. A fim de verificar este valor e ampliar possibilidades de análise, foi elaborada uma pesquisa de campo com 31 motoristas de taxis na cidade do Rio de Janeiro (ANEXO III). A escolha por taxistas provém da ampla utilização do gás natural na frota de taxis da cidade do Rio de Janeiro. O levantamento foi feito num posto de abastecimento de GNC e visou verificar (prioritariamente em modelos de veículos constados na tabela 24) o desempenho dos veículos populares na cidade e na estrada (figura 31, elaborada partir do resultado da pesquisa).

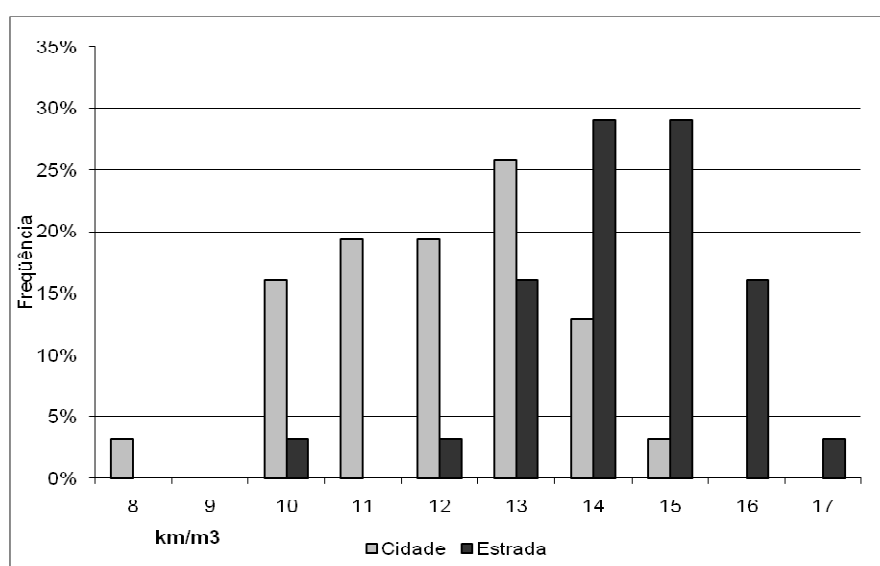


Figura 31. Distribuição de frequência do desempenho (km/m³) de VCI's no RJ

Na figura 32 pode-se observar a distribuição de frequência dos desempenhos quando se transita na estrada e na cidade, com o ar-condicionado ligado e desligado.

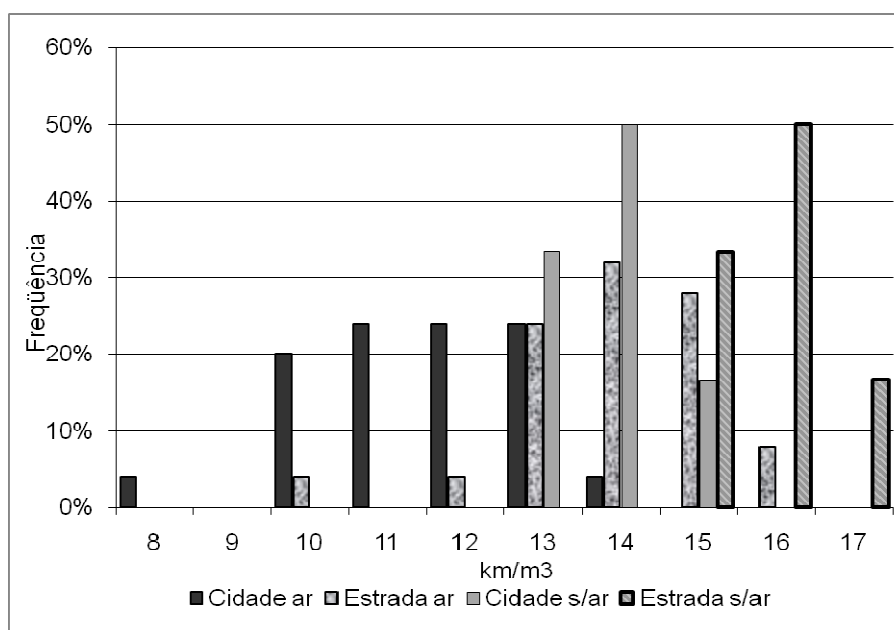


Figura 32. Distribuição de frequência do desempenho (km/m^3) de VCI's no RJ considerando o uso do ar-condicionado

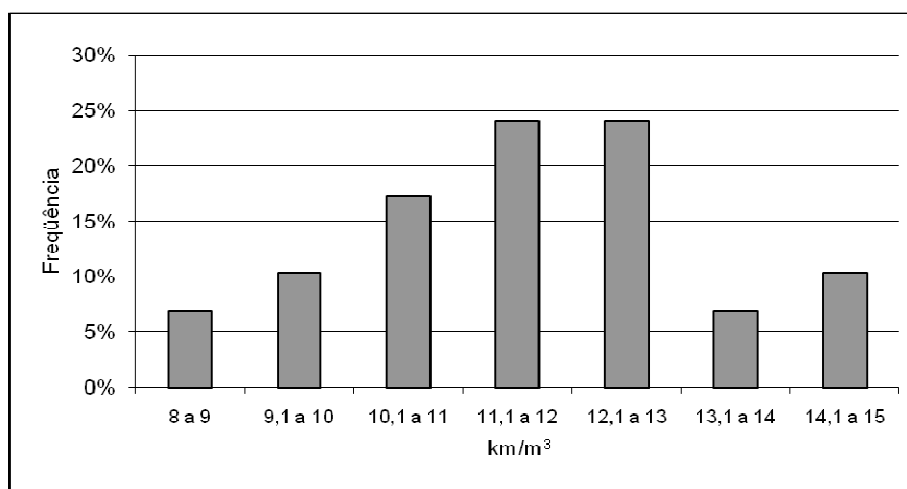
Tanto na figura 31, quanto na 32, fica nítido o maior desempenho dos veículos quando são usados na estrada. De forma mais precisa, a tabela 25 também traz resultados da pesquisa. Ela indica que o desempenho médio dos veículos na cidade é de $11,5\text{km/m}^3$ com ar condicionado ligado e $13,8\text{km/m}^3$ com ar condicionado desligado. Já na estrada o desempenho varia de $13,9\text{km/m}^3$ com ar condicionado ligado a $15,8\text{km/m}^3$ com ar condicionado desligado. Pode-se observar que o aspecto do uso do ar-condicionado é relevante, pois 81% dos entrevistados utilizam a refrigeração, que compromete em até 20% o desempenho do veículo (km/m^3).

Tabela 25. Desempenho do VCI em quilômetros rodados por m³ de GNC

km/m ³	Total da pesquisa				Ar condicionado ligado 81%				Ar condicionado desligado 19%			
	Cidade	Freq	Estrada	Freq	Cidade	Freq	Estrada	Freq	Cidade	Freq	Estrada	Freq
8	1	3%	0	0%	1	4%	0	0%	0	0%	0	0%
9	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
10	5	16%	1	3%	5	20%	1	4%	0	0%	0	0%
11	6	19%	0	0%	6	24%	0	0%	0	0%	0	0%
12	6	19%	1	3%	6	24%	1	4%	0	0%	0	0%
13	8	26%	5	16%	6	24%	6	24%	2	33%	0	0%
14	4	13%	9	29%	1	4%	8	32%	3	50%	0	0%
15	1	3%	9	29%	0	0%	7	28%	1	17%	2	33%
16	0	0%	5	16%	0	0%	2	8%	0	0%	3	50%
17	0	0%	1	3%	0	0%	0	0%	0	0%	1	17%
Média relativa [km/m ³]	12,0		14,4		11,5		14,0		13,8		15,8	
Autonomia cilindro 10m ³	120		144		115		140		138		158	

Fonte: Pesquisa de campo (2009), ANEXO III.

Outra análise que complementa o estudo sobre veículos populares adaptados para GNC está no ANEXO IV. Trata-se do levantamento de dados de consumo e desempenho feito por SILVA (2010) em seu próprio veículo, que originou a figura 33, onde pode-se observar que o desempenho do seu VCI é semelhante (média de 12,4 km/m³) ao resultado da pesquisa apresentada na tabela 25 e também ao valor apresentado pela Folha do GNV (12km/m³). SILVA (2010) informa que ao utilizar seu VCI, 90% do tempo o ar-condicionado permanecera ligado.



Fonte: Elaboração própria

Figura 33. Frequência do desempenho (km/m³) do VCI

O sistema de propulsão dos veículos é composto por dois sub-sistemas: o de conversão de energia (motor de combustão interna de ciclo Otto no VCI) e o sistema de transmissão mecânica composto por engrenagens (D'AGOSTO, 2004). Ambos sistema possuem perdas relacionadas, também detalhadas na tese de D'AGOSTO (2004).

“O sistema de conversão de energia é responsável por converter qualquer tipo de energia em energia mecânica. No sistema de propulsão convencional trata-se do MCI. O sistema de transmissão de energia é responsável por transmitir a energia mecânica até as rodas. Usualmente trata-se de um sistema de transmissão mecânico com engrenagens e eixos.” D'AGOSTO 2004

O valor da eficiência do sistema de propulsão do VCI mais comum verificado na bibliografia foi 15% (D'AGOSTO, 2004) (NUNES, 2006) (HANDA *et* YOSHIDA, 2007).

6.2.1.1–Matrizes de Eficiência Energética [E1] e de Consumo Energético [F1] do ICV₁

Matriz [E1]

Este item apresenta a matriz [E1], que sintetiza os valores de eficiências energéticas referentes aos micro, meso e macro estágio do ICV₁. Em seguida, a partir de [E1] e do consumo energético do VCI, obtém-se a matriz [F1], de consumo energético do ICV₁.

Pode-se observar na tabela 26 a eficiência energética em todos os estágios (micro, meso e macro) do inventário de ciclo de vida do (GNC,VCI). Sob a ótica de macro-estágios, um dos fatores que conduz à baixa eficiência de 12,4% em [E1] é a baixa eficiência dos veículos com motores de combustão interna de ciclo Otto (15%), uma vez que a cadeia de suprimentos do gás natural apresenta uma eficiência relativamente alta, de 82,7%.

Entre os meso-estágios referentes à cadeia de suprimentos, é possível verificar que o estágio “transporte e distribuição de GN” possui a menor eficiência energética média

(92%). Entre os micro-estágios que estão contidos nele, o processo de transporte entre Cabiúnas e a CEG é o que mais contribui para a baixa eficiência deste meso-estágio. Ainda mencionando a movimentação de gás natural, ao observar o transporte de matéria-prima e o transporte do gás natural processado, verifica-se que nestas atividades estão concentradas as maiores possibilidades de ganhos em eficiência energética para toda a cadeia de suprimentos do ICV₁, pois são as que possuem maiores diferenças entre os seus valores mínimos e máximos.

Tabela 26. Matriz [E1] relacionada ao ICV₁

E1 (GNC , VCI)																								
MIN							MÉD									MAX								
11,61%							12,40%									13,02%								
MACRO-ESTÁGIO	CADEIA DE SURPIMENTOS DO GÁS NATURAL																					USO FINAL		
	MIN						MÉD						MAX									MIN	MED	MAX
	77,4%						82,7%						86,8%									15%	15%	15%
MESO-ESTÁGIO	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA						TRANSP MP			PROD GN			TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO GN									USO FINAL		
	MIN		MED		MAX		MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN			MED			MAX			MIN	MED	MAX
	92,5%		95,4%		96,9%		95%	96,5%	98%	97,6%	97,6%	97,6%	90,3%			92,0%			93,7%			15%	15%	15%
MICRO-ESTÁGIO	EXPLORAÇÃO			PRODUÇÃO			TRANSP MP			PROD GN			TRANSP GN			DIST GN			ABAST			USO FINAL		
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX
	99,6%	99,7%	99,8%	92,9%	95,7%	97,1%	95%	96,5%	98%	97,6%	97,6%	97,6%	92%	93,5%	95%	100%	100%	100%	98,1%	98,4%	98,6%	15%	15%	15%

Legenda: MP-matéria-prima, EXPL-exploração, PROD-produção, TRANSF-transferência, GN-gás natural processado comprimido, TRANSP-transporte, DIST-distribuição, CARREG-carregamento.

A figura 34 mostra graficamente as eficiências dos micro-estágios de E1. Novamente é possível ter idéia da relativa baixa eficiência do VCI diante dos demais processos que envolvem o ciclo de vida de (GNC,VCI).

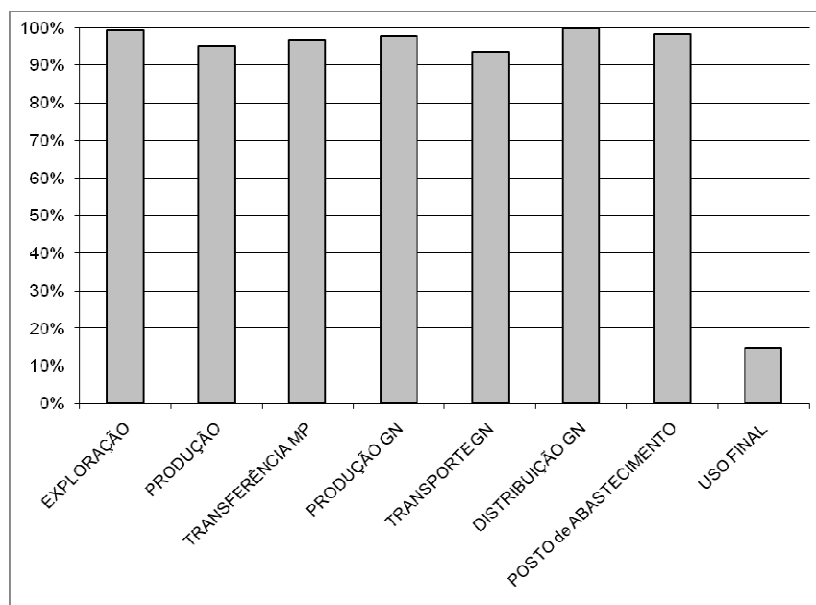


Figura 34. Gráfico da eficiência energética de E1 na profundidade de micro-estágios

Os valores de eficiência energética considerados em [E1] foram verificados através da comparação entre os valores aqui encontrados com os dos estudos semelhantes comentados abaixo. É possível observar que os valores encontrados nos trabalhos mencionados estão na mesma ordem dos valores definidos em [E1]. Não são valores idênticos, até porque são abordagens em áreas geográficas e momentos distintos, no entanto a semelhança entre os dados reflete de forma positiva o resultado obtido.

HEKKERT *et al.* (2005), identificou valores de 96,9% de eficiência energética na exploração do GNC, além de 92,8% para a produção e 96,6% no transporte de GNC. Estes valores indicaram uma eficiência de 87% na cadeia de suprimentos do GNC. Este mesmo estudo aponta que eficiência energética do VEB está entre 75% e 84%.

D'AGOSTO (2004), em sua revisão bibliográfica, verificou que a Agência Internacional de Energia (IEA) divulgou valores máximos (94%) e mínimos (86,5%) para a eficiência energética da cadeia de suprimentos do GNC. Ainda explorando a revisão bibliográfica de D'AGOSTO (2004), numa das primeiras análises energéticas de processos

industriais, BOUSTEAD *et* HANCOCK (1979) informaram os seguintes valores médios para a eficiência energética da cadeia de suprimentos do GNC: 89% (nos Estados Unidos), 82,5% (no Reino Unido) e 87,5% (na Europa Ocidental).

D'AGOSTO (2004) apresenta as eficiências energéticas das cadeias de suprimentos de diversos combustíveis (gasolina, óleo diesel, etanol, GNC e biodiesel). Entre as cadeias de suprimentos estudadas pelo autor se destacaram, sob o aspecto da eficiência energética, a do GNC e a do óleo diesel. A eficiência energética da cadeia de suprimento do GNC foi entre 86,5% e 94%, enquanto a do óleo diesel foi de 87,6% e 91,3%. A partir deste estudo, pode-se concluir que o GNC merece destaque por possuir o maior valor potencial de eficiência energética na cadeia de suprimentos de GNC (94%) entre os combustíveis estudados neste trabalho.

Segundo NUNES (2006), o rendimento energético final obtido com o uso de GNC, englobando transporte, compressão e utilização em motores de combustão interna, é de 13%.

Matriz F1

Como foi apresentado no capítulo 5, a matriz [E1] e as informações sobre o VCI permitem calcular a matriz [F1], que traz o consumo energético nos estágios do ICV₁. A unidade funcional de [F1] é o Mega Joule por passageiro a cada 1000 quilômetros: MJ/(pass*1000km).

Foi considerado que para um VCI (com rendimento médio de 12km/m³, transportando 1,5 passageiro) se deslocar 1.000km, necessita ser abastecido com 2.073MJ de GNC, sendo que apenas 15% disso é, de fato, transformado em trabalho. Para prover esse deslocamento, o gás natural deve passar por todas as etapas da cadeia de suprimentos do GNC e pela tecnologia que envolve o VCI. A partir do consumo do VCI e das eficiências energéticas médias obtidas em [E1], foi possível elaborar a tabela 27, que mostra o consumo energético de cada estágio do ICV₁, assim como o peso de cada um deles no consumo total de energia no ciclo de vida. A memória de cálculo de [F1] a partir de [E1] se encontra no ANEXO IV.

Tabela 27. Matriz [F1] relacionada ao ICV₁

F1 (GNC,VCI) - CONSUMO [MJ/pass.1000km]									
MACRO-ESTÁGIOS	CADEIA DE SUPRIMENTOS							USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	434,3							1.762,1	2196,4
Participação % no consumo total	20%							80%	100%
MESO-ESTÁGIOS	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA		TRANSPORTE MP	PRODUÇÃO GN	TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO GN			USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	115,0		83,7	55,4	180,2			1.762,1	2196,4
Participação % no consumo total	5,2%		3,8%	2,5%	8,2%			80,2%	100%
MICRO-ESTÁGIOS	EXPLORAÇÃO	PRODUÇÃO	TRANSFERÊNCIA GN	PRODUÇÃO GN	TRANSPORTE GN	DISTRIBUIÇÃO GN	POSTO de ABASTECIMENTO	USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	7,5	107,5	83,7	55,4	146,5	0,0	33,7	1762,1	2196,4
Participação % no consumo total	0,3%	4,9%	3,8%	2,5%	6,7%	0,0%	1,5%	80,2%	100%

Numa breve análise em micro-estágios da tabela 27, o maior consumo de energia é no uso final (80,2%) seguido do transporte de gás entre Cabiúnas e o distribuidor local no Rio de Janeiro (6,7%).

6.2.2 Inventário do ciclo de vida do par (ETE,VEB) - ICV₂

A figura 35 mostra o ciclo de vida que será considerado no estudo do par (ETE, VEB). O gás extraído da Bacia de Campos deve ser utilizado na produção de energia elétrica para abastecer as baterias dos veículos equipados com motor elétrico.

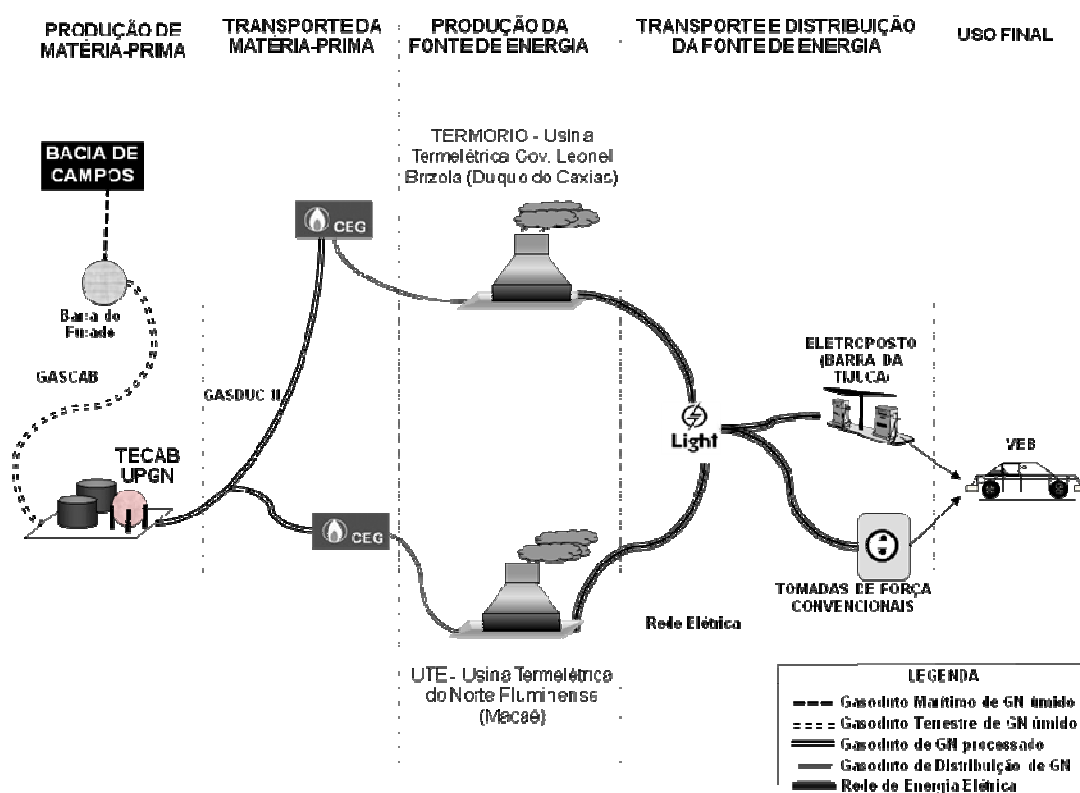


Figura 35. Ciclo de Vida associado ao par (ETE, VEB)

a) Produção da matéria-prima

A matéria-prima para produção da energia termelétrica a gás é o gás natural processado. Por isso, a produção da matéria-prima deste ciclo de vida engloba os processos de exploração, produção, transferência e processamento do GN, descritos nos itens *a*, *b* e *c* do ICV₁.

b) Transporte da matéria-prima

A eficiência da transferência do GN para as usinas termelétricas é semelhante ao item d' e d'' do ICV₁. A diferença é que não será considerada a compressão intermediária, pois, ao contrário dos principais mercados consumidores de GNC, as termelétricas possuem a flexibilidade de serem instaladas próximas às UPGNs. Além disso, a instalação da compressão intermediária em Silva Jardim está mais associada o aumento do consumo do gás natural comprimido veicular do que para suprimento de termelétricas distantes. A transferência feita por compressão possui eficiência energética média de 95,5%.

Tabela 28. Eficiência energética na transferência de GN para termelétricas

TRANSFERÊNCIA MP		
Mín.	Méd.	Máx.
94%	95,5%	97%

c) Produção da fonte de energia (ETE)

Seguindo o escopo deste trabalho, duas termelétricas foram selecionadas para compor este estudo: a TERMORIO (também conhecida como termelétrica “Governador Leonel Brizola”), em Duque de Caxias, e a Usina Termelétrica Norte Fluminense (UTENF), em Macaé. Ambas utilizam a geração em ciclo combinado. A abrangência tecnológica descrita no escopo eliminou a possibilidade de incluir a termelétrica Termomacaé (conhecida também como “Usina Mario Lago”), pois esta utiliza tecnologia de geração de ciclo simples, cuja eficiência é de 38%. A fim de manter as preferências da abrangência temporal (momento do estudo) contidas no escopo, a termelétrica de Santa Cruz não foi incluída, pois não está operando.

O gás natural consumido na TERMORIO e na UTENF é transportado através do gasoduto GASDUC II, sendo comercializado pela empresa CEG (Companhia Distribuidora de Gás do RJ S.A.).

Instalada no outro extremo do GASDUC II, em Duque de Caxias – RJ, a TERMORIO está a 180 km do TECAB. Com potência instalada de 1.058 MW, a TERMORIO é a termelétrica com maior capacidade geradora do país. A energia gerada é direcionada

para o Sistema Interligado Nacional (SIN) através de uma linha de transmissão de 138 kV até a subestação São José, em Belford Roxo – RJ, de propriedade de FURNAS, localizada a cerca de 13,5 km da TERMORIO (TRANSPETRO, 2009). Duas fontes distintas foram capazes de fornecer as eficiências energéticas desta termelétrica quando operando na configuração para qual fora dimensionada (pode-se operar em outras configurações onde se obtém menores eficiências). A PETROBRAS (2009) declarou uma média de eficiência de 48%, podendo chegar até 50%.

A Usina Termelétrica Norte Fluminense (UTENF) é a terceira maior termelétrica do país com capacidade de geração, com potência instalada de 869 MW. Está localizada a 7 km da estação de compressão de Cabiúnas e a cerca de 150 km da cidade do Rio de Janeiro. Em visita técnica na UTENF, foi verificado que quando a termelétrica opera próxima à sua capacidade projetada, esse valor varia entre 53 e 56%. Porém, essa eficiência se modifica de acordo com a configuração que está sendo operada. São inúmeras configurações que são definidas de acordo com a demanda de produção definida pela ONS. O nível de consumo diário da UTENF é de 3.400.000 m³ de GN.

A tabela 29 mostra os valores máximos, mínimos e as médias de eficiência energética de cada uma das duas térmicas envolvidas no estudo. O valor geral foi calculado ponderando as proporções de acordo com a capacidade de geração de cada uma.

Tabela 29. Eficiências energéticas da produção de energia termelétrica

UTENF	869 MW	45,1%
Mín.	Méd.	Máx.
53%	54,5%	56%
TERMORIO	1058 MW	54,9%
Mín.	Méd.	Máx.
48%	49%	50%
GERAL	1927 MW	100%
Mín.	Méd.	Máx.
50,3%	51,5%	52,7%

d) Transporte e distribuição da fonte de energia

O transporte de eletricidade pode ser dividido em três etapas principais: a transmissão (d'), a distribuição de energia elétrica (d'') e a terceira etapa (d''') que constitui no carregamento do VEB.

d') A transmissão:

A transmissão se dá a partir das próprias unidades geradoras de energia, através das linhas de transmissão de alta voltagem (138 a 750KV). Após a produção da energia elétrica, sua tensão é elevada pelos transformadores, e posteriormente é abaixada nas subestações abaixadoras. O transporte e a distribuição de energia elétrica não consomem efetivamente energia, como ocorre no transporte de GN. Por outro lado, é um processo onde ocorrem perdas técnicas que afetam diretamente o valor de eficiência energética na transmissão de energia elétrica.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), junto com diversas empresas operam e controlam a transmissão de energia elétrica ligada ao Sistema Interligado Nacional (SIN). As perdas técnicas na transmissão atualmente estão numa média de 2% (ONS, 2009a).

A energia produzida pela UTENF é elevada até a tensão de 340 kV, enquanto na TERMORIO essa tensão é elevada a 138kV. Cerca de 90% das linhas de transmissão elétrica do país opera com tensão igual ou superior a 230 KV (ELETROBRAS, 2009). Ambos os sistemas de transmissões estão conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN) através de subestações cuja proprietária é a empresa Furnas Centrais Elétricas. Nas transmissões de curtas distâncias, as perdas são entre 2 e 3%, enquanto nas longas distâncias são de até 7%. Para compor a perda mínima da transmissão de longa distância, foi utilizado o valor de 2% de perda técnica passado pela ONS (ONS, 2009b), (tabela 30).

Tabela 30. Eficiência energética na transmissão de energia elétrica

TRANSMISSÃO A CURTA DISTÂNCIA		
Mín.	Méd.	Máx
97,0%	97,5%	98,0%
TRANSMISSÃO A LONGA DISTÂNCIA		
Mín.	Méd.	Máx
93,0%	95,5%	98,0%
MÉDIA		
Mín.	Méd.	Máx
95,0%	96,5%	98,0%

d'') A distribuição

As linhas de transmissão ao se aproximarem dos centros consumidos têm suas tensões reduzidas, quando a energia é distribuída na rede fluminense pela empresa LIGHT S.A..

As perdas relacionadas à distribuição de energia elétrica podem ser divididas em dois tipos: as técnicas e as não-técnicas. As perdas técnicas são intrínsecas às limitações físicas dos componentes da rede como perdas por histerese, efeito joule *etc.*, enquanto as perdas não-técnicas são oriundas do desvio de conduta social como ligações clandestinas, alteração nos equipamentos de medição, entre outras formas de furtos e fraudes. Este trabalho irá considerar apenas as perdas técnicas, as quais podem ser minimizadas através de avanços tecnológicos que permitam um melhor desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica. As perdas não-técnicas devem ser minimizadas através da fiscalização e controle da operação de distribuição, possuindo um caráter mais comercial e social do que diretamente técnico-científico.

O valor estimado de perdas técnicas apresentado pela LIGHT (2009) é de 5,8%. Segundo a ANEEL (2007), as perdas técnicas na distribuição de energia elétrica em 2007 eram em média 8%. A partir desses valores foram calculadas as eficiências da atividade de distribuição de eletricidade no RJ (tabela 31).

Tabela 31. Eficiência energética na distribuição de energia elétrica

DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE		
Mín.	Méd.	Máx
92,0%	93,1%	94,2%

d''') O abastecimento do VEB

O carregamento das baterias do VEB pode ser feito nas tomadas convencionais de 110 e 220 volts. Numa tomada de 110V, de 15 ampères, leva-se em torno de 14 horas para recarregar uma de íons-lítio com capacidade de fornecimento de 16kWh de energia. Na tomada de 220v, o tempo é reduzido pela metade (7 horas aproximadamente). Também existe a possibilidade de recarga rápida, quando em 20 minutos se recarrega 80 % da carga total. Para tal, deve-se contar com uma tomada de 330V trifásica, com capacidade de corrente de 50A (MITSUBISHI, 2010a). O recarregador é o equipamento que permite a carga das baterias nas tomadas, e vem acoplado ao VEB. Apesar de integrado ao VEB, optou-se por tratar o abastecimento do VEB separadamente do uso final para que se pudesse efetuar comparações entre os consumos e as eficiências associadas aos carregamentos do VCI e do VEB. Além disso, ainda que o recarregador componha o VEB, evoluções tecnológicas nesse equipamento afetarão diretamente o processo de recarga, e não o desempenho ou eficiência energética do veículo.

Os seguintes valores foram encontrados para a eficiência do abastecimento: 83% (HANDA *et* YOSHIDA, 2007) e 90% (MITSUBISHI, 2010a). Ou seja, entre 10 e 17% da energia requerida na recarga não chega às baterias, pois é transformada em outras formas de energia, como o calor, podendo ser considerado como perda de energia. As eficiências energéticas associadas ao carregamento dos VEBs podem ser verificadas na tabela 32.

Tabela 32. Eficiência no carregamento do VEB

EFICIÊNCIA DO CARREGAMENTO		
Mín.	Méd.	Máx
83,0%	86,5%	90,0%

Como foi mencionado no capítulo 4, conforme ocorra a gradativa conquista de mercado por parte dos VEBs, a infra-estrutura voltada para seu abastecimento deve ser ampliada. Locais com estacionamentos (garagens de prédios residenciais e comerciais, de *shoppings* e supermercados *etc.*) e postos de combustíveis devem se adequar para

atender essa nova demanda. Desde agosto de 2009 o iMiev (VEB da fabricante Mitsubishi Motors) é comercializado no Japão e em 2010 será lançado no mercado automobilístico europeu (MITSUBISHI, 2010b). Portugal e Inglaterra já se preparam para receber os VEBs, garantindo uma estrutura para recarga rápida em locais públicos como estacionamentos que provêm recarga rápida, além de oferecerem estacionamentos grátis para veículos elétricos (ABVE, 2009).

e) Uso final (VEB)

A partir das informações contidas na tabela 13 (capítulo 4) pôde-se verificar e comparar diversos modelos de veículos leves à bateria. Levando-se em consideração o escopo, onde foi destacado o interesse em se eleger um VEB com características técnicas semelhantes ao VCI, constatou-se que o carro iMiev (figura 36), da fabricante Mitsubishi, era o mais adequado para ser comparado aos modelos que constituem a frota de veículos leves no Rio de Janeiro.



Fonte: MITSUBISHI, 2010

Figura 36. iMiev – Veículo elétrico a bateria adotado para o estudo

O iMiev possui potência de 63 cv (MITSUBISHI, 2010B), atinge a velocidade máxima de 140 km/h e pesa 1.080 kg (tabela 33).

Tabela 33. iMiev – Especificações técnicas

Comprimento x largura x altura	3,395 x 1,475 x 1,600mm
Peso	1.080 kg
Capacidade de Passageiros	4
Velocidade máxima	130 km/h
Autonomia	160 km
Força máxima	47 kW
Torque máximo	180 N*m
Tipo	Íons-Lítio
Energia total	16kWh

Fonte: MITSUBISHI, 2010c

A fim de posicionar alguns dos aspectos técnicos do iMiev, contidos na tabela 33, aos vistos na tabela 24 (de uso final no ICV₁), foram elaboradas as figuras 37, 38 e 39, a seguir. Na figura 37, é possível verificar que em termos de potência, o VEB escolhido é bem semelhante aos VCIs. Considerando os 15% da perda de potência dos VCIs, a média de potência é 61cv, contra 63cv do iMiev.

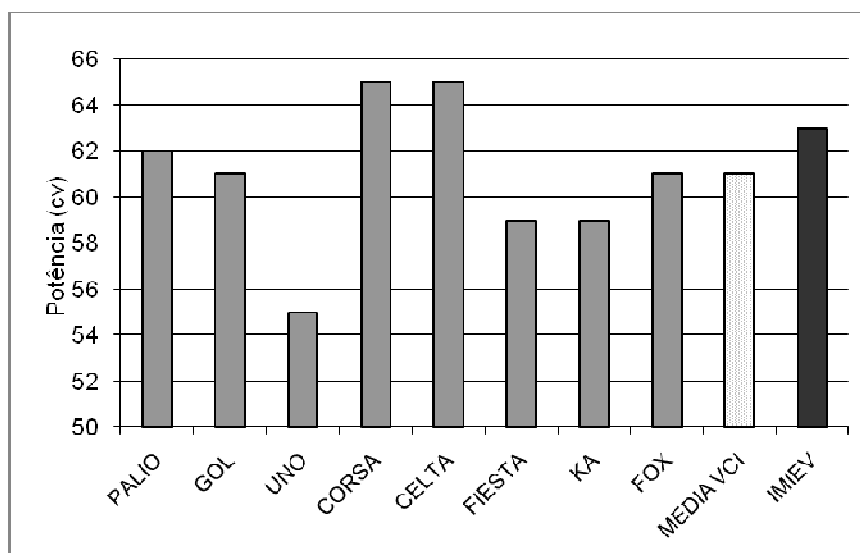


Figura 37. Potência do iMiev diante os VCIs

A velocidade máxima atingida pelo iMiev é de 130 km/h, consideravelmente inferior aos 165km/h do GOL (figura 38). Por outro lado, 130km/h é uma velocidade máxima

satisfatória para veículos em ambiente urbano, pois as características de tráfego nas cidade, não permitem geralmente o desenvolvimento de altas velocidades.

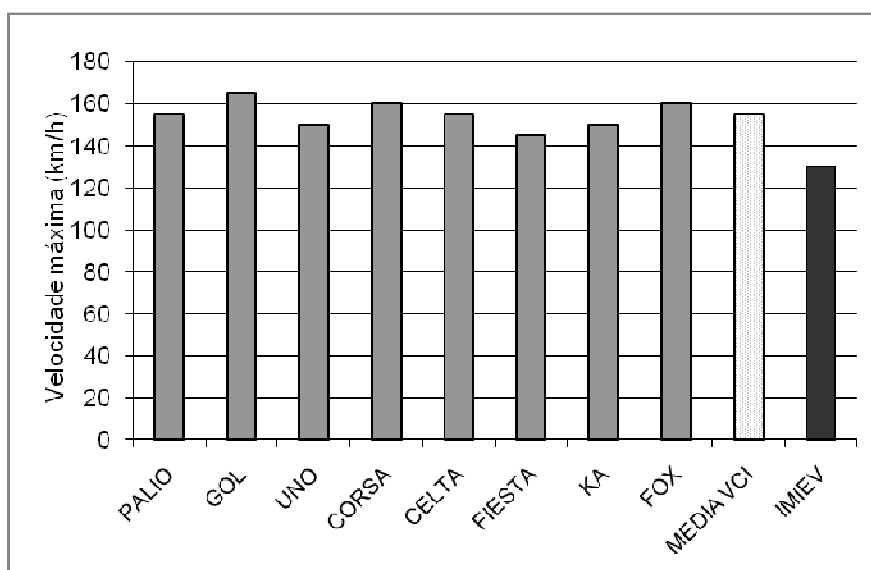


Figura 38. Velocidade Máxima do iMiev diante os VCIs

A instalação do *kit gás*, principalmente a do cilindro de armazenagem, faz com que o peso do VCI aumente em cerca de 50kg. De certa forma, esse fato fez com que a média de peso do VCI ficasse em 1.000kg (figura 39), pouco menos do que os 1.080kg do iMiev.

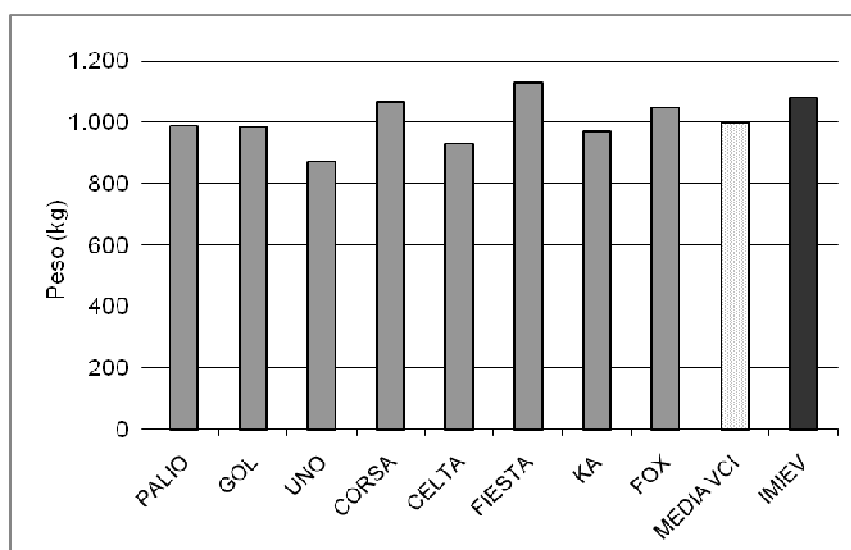


Figura 39. Peso do iMiev diante dos VCIs

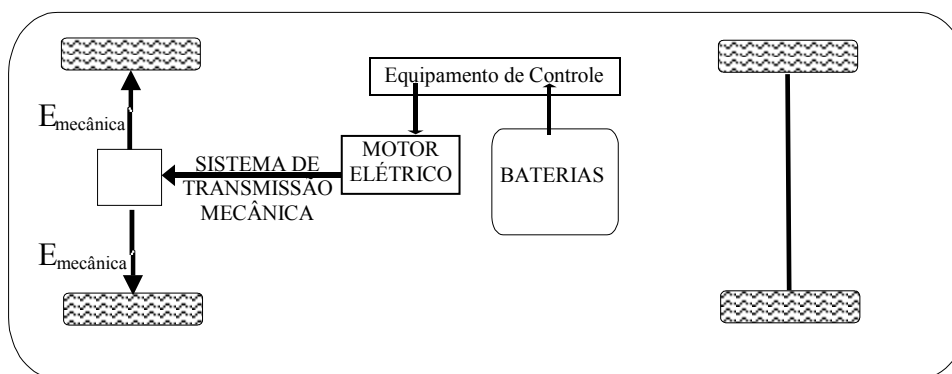
O consumo energético do iMiev está em torno de 0,125KWh/km (MITSUBISHI, 2010b), o que significa um custo de R\$ 0,03892/km para a realidade de um abastecimento numa residência no município do RJ em dezembro de 2009. Pode-se comparar esse valor com o encontrado a partir dos registros do ANEXO V, que apresenta o valor médio de R\$ 0,12/km para o VCI testado. Neste caso, a custo do quilômetro rodado pelo VEB é 31% (cerca de um terço) do valor referente ao VCI. Sob estas condições, a cada 100.000 km percorridos a economia utilizando o VEB é de R\$ 8.108,00.

A autonomia do iMiev é de 160km por carga completa (tabela 33). Esse valor pode parecer pouco diante da autonomia dos veículos populares leves à gasolina, que fazem em torno de 500km com o tanque cheio (50 litros de capacidade, com consumo de 10km/litro). No entanto, essa autonomia de 160km ainda é superior à do veículo com motor de combustão interna adaptado para GNC (o VCI definido no ICV₁), que com cilindro de 10m³ possui autonomia entre 115 e 158km. Outra análise que leva a crer que a autonomia do iMiev não é tão baixa, é a encontrada em D'AGOSTO (2004). O autor fez revisão bibliográfica referente à extensão média diária dos deslocamentos urbanos em todo o mundo, onde o maior valor encontrado foi de 22 km/dia¹⁵ (11km em cada sentido). No Japão, uma pesquisa (MITSUBISHI, 2010b) diz que cerca de 90% dos motoristas japoneses trafegam até 40 km/dia nos dias de semana e 80% deles rodam até 60km/dia nos finais de semana e feriados.

O iMiev possui baterias do tipo íons-lítio (MITSUBISHI, 2010a). São 88 células de íons-lítio, conectadas em série, instaladas sob o assoalho no centro do veículo, o que contribui para uma melhor estabilidade em função localização (mais baixa) do centro de gravidade do veículo. Se ao final de 10 anos de uso, ou 160 mil km rodados, a bateria não mantiver 80% da sua capacidade de carga original o fabricante efetua a troca da bateria gratuitamente. Em função de sua alta densidade energética e ampla utilização em protótipos de VEB, pode-se considerar que atualmente a bateria de lítio é a tecnologia com mais alta expectativa de penetração no mercado de baterias no segmento automobilístico.

¹⁵ valor retirado do trabalho de Schafer e Victor (2000), feito em 3 regiões do mundo, com 11 subdivisões (D'AGOSTO, 2004).

Entre a bateria e o motor elétrico existe um equipamento chamado *controller*, que assume a função de converter a corrente contínua em corrente alternada, adequada ao motor elétrico. Finalmente, a energia chega ao motor elétrico, que irá movimentar o sistema de transmissão mecânica para que o carro se locomova (figura 40).



Fonte: elaborado a partir de D'AGOSTO (2004)

Figura 40. Esquema de funcionamento do VEB

Esse veículo é equipado com o sistema de freio regenerativo, o que significa que até 10% da energia gasta com a frenagem é direcionada para as baterias em forma de carga elétrica. Segundo o artigo de HANDAL *et* YOSHIDA (2007), o iMiev possui eficiência energética de 80%.

6.2.2.1–Matrizes de Eficiência Energética [E2] e de Consumo Energético [F2] do ICV₂

Este item apresenta a matriz [E2] que sintetiza os valores de eficiências energéticas referentes aos micro, meso e macro estágios do ICV₂. Em seguida, obtém-se a matriz [F2], de consumo energético por estágio do ICV₂.

É possível observar na tabela 34 que o valor da eficiência energética da cadeia de suprimentos da EE é 34,1%. Multiplicando-se este valor pelos 80% de eficiência do VEB, obtém-se a eficiência média de 27,5% para o ICV₂.

Observando as diferenças entre os valores mínimos e máximos da matriz [E2] é possível destacar os micro-estágios mais propensos a proporcionar ganhos de eficiência. São

eles: a produção de energia elétrica, a transmissão de EE e o abastecimento do VEB. O ganho de eficiência na produção de energia elétrica está associado à tecnologia da termelétrica e/ou seu regime de operação. A transmissão de energia elétrica consome energia através de suas perdas técnicas e sua eficiência varia entre 93% e 98%. Enquanto isso, o carregamento do VEB possui eficiência energética média de 86,5%, com variação de 3,5% para mais (MAX) ou para menos (MIN). Este processo (carregamento) pode ser um foco de avanços tecnológicos no intuito de se melhorar a eficiência global da cadeia de suprimentos referente à energia termelétrica, pois outros processos como os que envolvem as tecnologias das termelétricas a ciclo combinado não ultrapassam 55% de eficiência em todo o mundo (IEA, 2008c). Até mesmo a transmissão de energia elétrica esbarra numa restrição onde a variação de sua eficiência está ligada à distância (quanto maior a distância, maior a perda, portanto menor a eficiência).

Tabela 34. Matriz [E2] relacionada ao ICV₂

E2 (ETE , VEB)																																	
MIN				MÉD												MAX																	
22%				27,5%												33,5%																	
MACRO	CADEIA DE SUPRIMENTOS ENERGIA ELÉTRICA																											USO FINAL					
	MIN				MÉD												MAX											MIN	MED	MAX			
	27,5%				34,3%												41,8%											80%	80%	80%			
MESO	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA												TRANSPORTE MP						PROD EE			TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO EE									USO FINAL		
	MIN			MED			MAX			MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN			MED			MAX			MIN	MED	MAX			
	85,8%			89,9%			92,7%			94%	95,5%	97%	48	51,5	56	71,0%			77,7%			83,1%			80%	80%	80%						
MICRO (%)	EXPL GN			PROD GN			TRANSF GN			PROCESS GN			TRANSP GN			DISTR GN			PROD EE			TRANSM EE			DIST. EE			CARREG			USO FINAL		
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX			
	99,6	99,7	99,8	92,9	95,7	95,7	95	96,5	98	97,6	97,6	97,6	94	95,5	97	100	100	100	48	51,5	56	93	96,5	98	92	93,1	94,2	83	86,5	90	80%	80%	80%

Legenda: MP-matéria-prima, EXPL-exploração, PROD-produção, TRANSF-transferência, GN-gás natural processado comprimido, TRANSP-transporte, DIST-distribuição, CARREG-carregamento.

Os valores encontrados nos trabalhos mencionados abaixo estão na mesma ordem dos valores calculados neste, indicando a coerência do que foi apresentado em [E2].

Segundo NUNES (2006), a eficiência energética final obtida para o ciclo de vida do GNC para geração de eletricidade e uso final em veículos elétricos a bateria foi de 27% (geração), o que é bastante próximo dos 29% publicados em HANDA *et* YOSHIDA (2007) e dos 27,5% apresentados neste trabalho.

RAMOS-REAL *et al.* (2007) informa que a eficiência da termelétrica de ciclo combinado pode variar de acordo com a taxa de operação, quanto mais horas se opera, maior é a eficiência obtida. Esta variação ficou de 45% e 60%. Em [E2], o meso-estágio de “PRODUÇÃO EE” foi o que mostrou menor valor de eficiência energética com valores entre 48% e 56%

Matriz [F2]

A partir de [E2], foi elaborada a matriz [F2] para o inventário de ciclo de vida onde a unidade funcional referente à energia consumida nos estágios envolvidos é o Mega Joule por passageiro a cada 1000 quilômetros [MJ/(pass*1000km)].

O consumo energético do iMiev está em torno de 0,125 kWh/km, ou 0,45 MJ/km. Transportando 1,5 passageiro ao longo de 1.000km, necessita ser abastecido com 300 MJ de energia elétrica, sendo que 80% disso é de fato transformado em trabalho. A partir do consumo do VEB e das eficiências energéticas médias obtidas em [F2], foi possível elaborar a tabela 35, que mostra o consumo de energia por estágio do ICV₂ e a respectiva parcela que cada um deles detém no consumo total de energia no ciclo de vida. A memória de cálculo para a obtenção de [F2] a partir de [E2] se encontra no ANEXO VI.

Acerca dos valores de consumos apresentados por [F2] (tabela 35), o meso-estágio “transporte de MP” consome apenas 5,6% do total consumido pelo ciclo de vida, enquanto a produção de eletricidade por termelétricas é o principal estágio consumidor de energia em relação aos demais em [F2], com 57,4%.

Tabela 35. Matriz [F2] de consumo energético atribuído ao ICV₂

F2 (ETE,VEB) - CONSUMO [MJ/pass.1000km]												
MACRO-ESTÁGIO	CADEIA DE SUPRIMENTOS										USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	573,5										60	633,5
Participação % no consumo total	90,5%										9,5%	100%
MESO-ESTÁGIO	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA			TRANSPORTE MP		PRODUÇÃO EE		TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO EE			USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	88,5			35,3		363,6		86,0			60	633,5
Participação % no consumo total	14,0%			5,6%		57,4%		13,6%			9,5%	100%
MICRO-ESTÁGIO	EXPL GN	PROD GN	TRANSF GN	PROCESS GN	TRANSP GN	DIST GN	PRODUÇÃO EE	TRANSM EE	DIST EE	CARREGAMENTO	USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	2,6	37,4	29,2	19,3	35,3	0,0	363,6	13,5	25,7	46,8	60	633,5
Participação % no consumo total	0,4%	5,9%	4,6%	3,0%	5,6%	0,0%	57,4%	2,1%	4,1%	7,4%	9,5%	100%

Legenda: MP-matéria-prima, EXPL – exploração, TRANSF–transferência, PROD–produção, GN–gás natural processado comprimido, TRANSP–transporte, DIST–distribuição, EE-energia elétrica, TRANSM-transmissão, PROCESS-processamento.

6.3. FASE 3 – AVALIAÇÃO DOS DADOS DE [F1] e [F2]

O item 6.3.1 verifica valores referentes aos processos contidos em [F1] e [F2] de acordo com o critério de eleição do processo mais crítico em termos de consumo de energia no respectivo ciclo de vida. Após a verificação, serão geradas as matrizes [F1'] e [F2'].

6.3.1 – Verificação dos dados

Tendo como referência a participação percentual de cada meso-estágio apresentado nas matrizes [F1] e [F2], serão considerados passíveis de revisão e verificação os estágios que mostrarem maior participação no respectivo ICV. Neste sentido, de [F1] será verificado o meso-estágio de uso final (que obteve 80,2% do consumo total do ICV₁) e de [F2] o referente à produção de energia elétrica (que representou 57,4% do consumo total do ICV₂).

O uso final do GNC no ICV₁ é o veículo leve equipado com motores de combustão interna (MCIs) de ciclo Otto adaptado para admitir gás natural como combustível. Foi constatado que o VCI consome 1.762MJ/(pass*1000km). Este valor foi obtido a partir do cruzamento de valor de consumo (km/m³) definido em seu inventário e da sua eficiência energética na matriz [E1]. O consumo do VCI foi levantado a partir de três fontes: publicação internacional na “Folha do GNV” (FOLHA, 2009a) referente à realidade brasileira; pesquisa de campo com motoristas da frota de taxis na cidade do Rio de Janeiro (ANEXO III); histórico de dados recolhidos por SILVA (2010) seu VCI. Sobre o valor de eficiência energética utilizado para o VCI (15%), dentre as diversas fontes bibliográficas consultadas foram verificados diversos valores como 19% (HEKKERT *et al.*, 2005) e 17% (HACKNEY *et* NEUFVILLE, 2001). Entretanto concluiu-se que havia um consenso da eficiência energética do VCI em 15% (D'AGOSTO, 2004) (WISER, 2000) (NUNES, 2006) (HANDA *et* YOSHIDA, 2007). Desta forma, os valores utilizados para o cálculo do estágio de uso final do IVC₁ foram obtidos criteriosamente, através de diversas fontes e maneiras, tanto a partir de pesquisas *in loco* com a frota de veículos, quanto a partir de artigos e outras publicações internacionais. Foi decidido manter em [F1'] o mesmo valor de consumo energético mostrado em [F1].

O consumo de energia pelo meso-estágio de produção de energia elétrica é diretamente influenciado pela tecnologia empregada e suas condições de operação. Os valores máximos, mínimos e as médias de eficiência energética utilizados em cada uma das duas termelétricas selecionadas para o estudo (Termorio e Usina Termelétrica Norte Fluminense) foram obtidos diretamente com profissionais que trabalham ou trabalharam diretamente nestas operações. Os valores mínimo, médio e máximo de eficiência energética da produção de eletricidade foram calculados ponderando a capacidade de geração de cada termelétrica, conforme detalhado no item 6.2.2. A obtenção dos dados que levam ao valor do consumo de 363,6 MJ/(pass*1000km), responsável por 57,4% do consumo energético no ICV₂, foi feita diretamente com profissionais que conhecem as operações.

Nos dois casos de avaliação dos dados, foi decidido manter em [F'] os valores levantados em [F].

6.3.2 Matrizes [F1'] e [F2'] dos ICVs

A avaliação dos dados no item anterior não trouxe mudanças nos valores de [F1] e [F2], o que fez com que [F1'] (tabela 36) e [F2'] (tabela 37) mantivessem os números anteriormente definidos. Na próxima fase as matrizes [F1'] e [F2'] servirão como subsídios de informação para análise comparativa entre o perfil de consumo de energia do ICV₁ e ICV₂.

A partir dos valores em micro-estágios contidos na tabela 36, de [F1'], foi possível se obter o gráfico reproduzido na figura 41, que mostra a contribuição de cada etapa para o consumo total do ciclo de vida de (GNC,VCI). O estágio de uso final se destaca como maior consumidor de energia com 1.762 MJ/pass.1000km, o que representa 80% do total de energia demandada pelo ICV₁. Em seguida aparecem os micro-estágios “transporte de gás natural” e “produção de gás” (da fase de produção da matéria-prima), contribuindo, respectivamente, com 7% e 5% no consumo de energia do ICV₁.

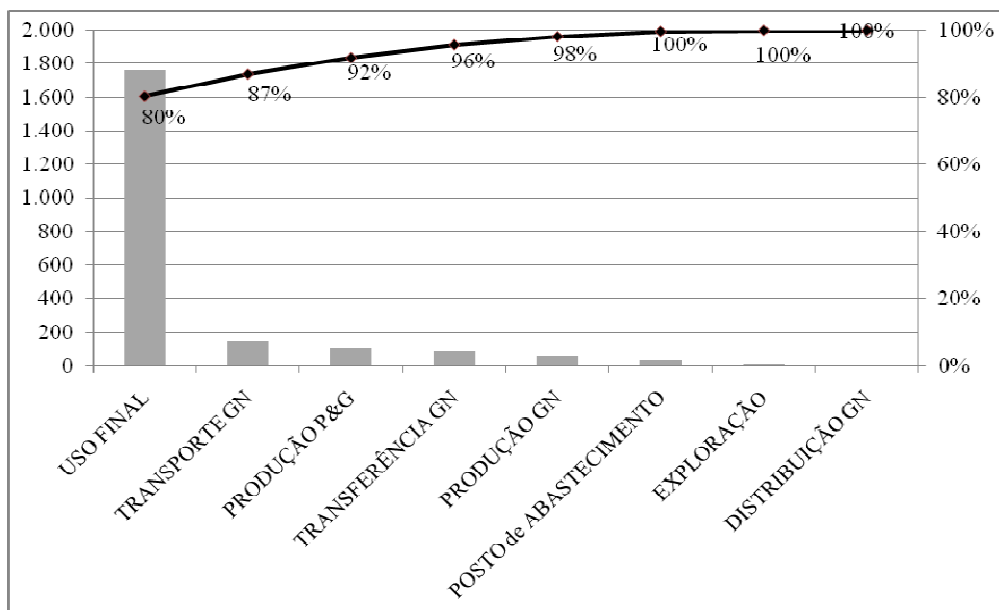


Figura 41. Consumo energético do ICV₁ na profundidade de micro-estágios

A partir dos valores em micro-estágios contidos na tabela 37, de [F2'], foi possível se obter o gráfico reproduzido na figura 42, que mostra a contribuição de cada etapa para o consumo total do ciclo de vida de (ETE, VEB). O micro-estágio associado à produção da energia elétrica contribui com 57% (ou 363,6 MJ/pass.1000km) do total de energia consumida pelo ICV₂. Em seguida aparece o micro-estágio do “uso final” com 10% e depois o processo de carregamento do VEB (7%). Juntos, estes três micro-estágios são responsáveis por consumir 74% do consumo total do ICV₂.

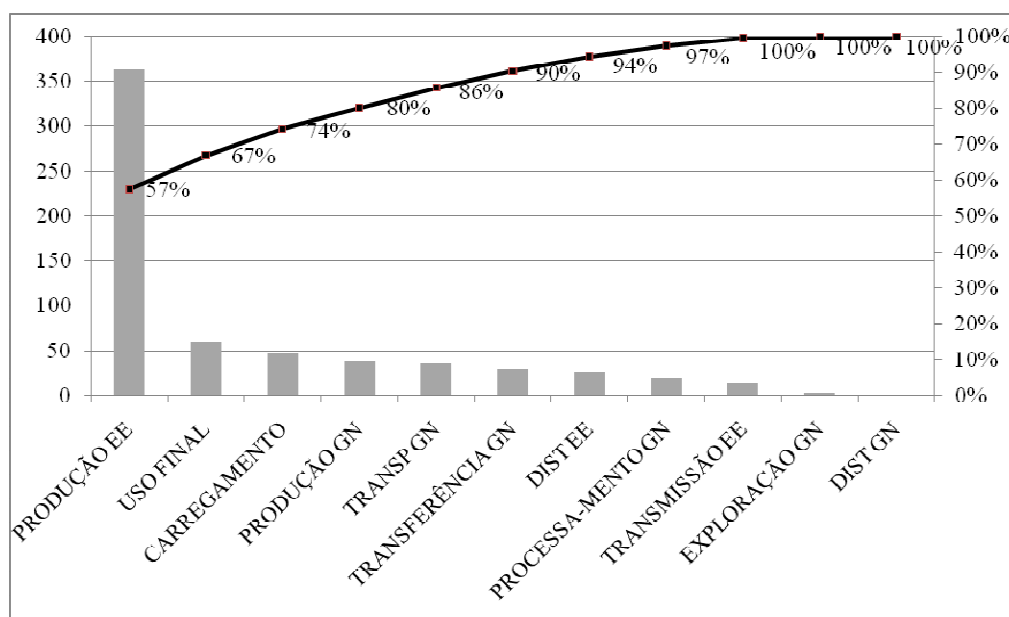


Figura 42. Consumo energético do ICV₂ na profundidade de micro-estágios

Tabela 36. Matriz [F1'] relacionada ao ICV₂

F1' (GNC,VCI) - CONSUMO [MJ/pass.1000km]									
MACRO-ESTÁGIOS	CADEIA DE SUPRIMENTOS							USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	434,3							1.762,1	2196,4
Participação % no consumo total	20%							80%	100%
MESO-ESTÁGIOS	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA		TRANSPORTE MP	PRODUÇÃO GN	TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO GN			USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	115,0		83,7	55,4	180,2			1.762,1	2196,4
Participação % no consumo total	5,2%		3,8%	2,5%	8,2%			80,2%	100%
MICRO-ESTÁGIOS	EXPLORAÇÃO	PRODUÇÃO	TRANSFERÊNCIA GN	PRODUÇÃO GN	TRANSPORTE GN	DISTRIBUIÇÃO GN	POSTO de ABASTECIMENTO	USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	7,5	107,5	83,7	55,4	146,5	0,0	33,7	1762,1	2196,4
Participação % no consumo total	0,3%	4,9%	3,8%	2,5%	6,7%	0,0%	1,5%	80,2%	100%

Tabela 37. Matriz [F2'] de consumo energético atribuído ao ICV₂

F2' (ETE,VEB) - CONSUMO [MJ/pass.1000km]												
MACRO-ESTÁGIO	CADEIA DE SUPRIMENTOS										USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	573,5										60	633,5
Participação % no consumo total	90,5%										9,5%	100%
MESO-ESTÁGIO	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA				TRANSPORTE MP		PRODUÇÃO EE	TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO EE			USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	88,5				35,3		363,6	86,0			60	633,5
Participação % no consumo total	14,0%				5,6%		57,4%	13,6%			9,5%	100%
MICRO-ESTÁGIO	EXPL GN	PROD GN	TRANSF GN	PROCESS GN	TRANSP GN	DIST GN	PRODUÇÃO EE	TRANSM EE	DIST EE	CARREGAMENTO	USO FINAL	TOTAL
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	2,6	37,4	29,2	19,3	35,3	0,0	363,6	13,5	25,7	46,8	60	633,5
Participação % no consumo total	0,4%	5,9%	4,6%	3,0%	5,6%	0,0%	57,4%	2,1%	4,1%	7,4%	9,5%	100%

Legenda: MP-matéria-prima, EXPL – exploração, TRANSF–transferência, PROD–produção, GN–gás natural processado comprimido, TRANSP–transporte, DIST–distribuição, EE-energia elétrica, TRANSM-transmissão, PROCESS-processamento.

6.4. FASE 4 – COMPARAÇÃO E CONCLUSÕES

6.4.1. Comparação e Conclusões referentes a [E1] e [E2]

Tomando-se como base comparativa os valores médios das eficiências energéticas de E1 (12,4%) e E2 (27,5%), pode-se afirmar que o ICV₂ é 121% mais eficiente do que o ICV₁. Esse resultado confirma a hipótese sugerida do item 1.2: “considerando o ciclo de vida das fontes de energia, o uso de GN em usinas termelétricas para a produção de energia elétrica para uma frota de automóveis elétricos a bateria pode apresentar melhor eficiência energética”... “do que a utilização em prática atualmente, que é a do uso de gás natural comprimido em motores de combustão interna (MCI).”.

No ICV₁ o estágio mais crítico quanto à eficiência energética é o uso final, pois todos os estágios que o antecedem se mostram com eficiências superiores aos análogos do ICV₂ (figura 43). O baixo valor de eficiência do VCI (15%) compromete toda a competitividade alcançada pela cadeia de suprimentos (82,7%). Com isso, a eficiência do ICV₁ é de 12,4%. Enquanto isso, [E2] mostra exatamente o contrário (figura 43); as eficiências citadas em seus meso-estágios conduzem ao valor de 34,3% para a cadeia de suprimentos da energia termelétrica, no entanto, os 80% de eficiência do VEB impulsiona todo o inventário para 27,5% de eficiência no ICV₂.

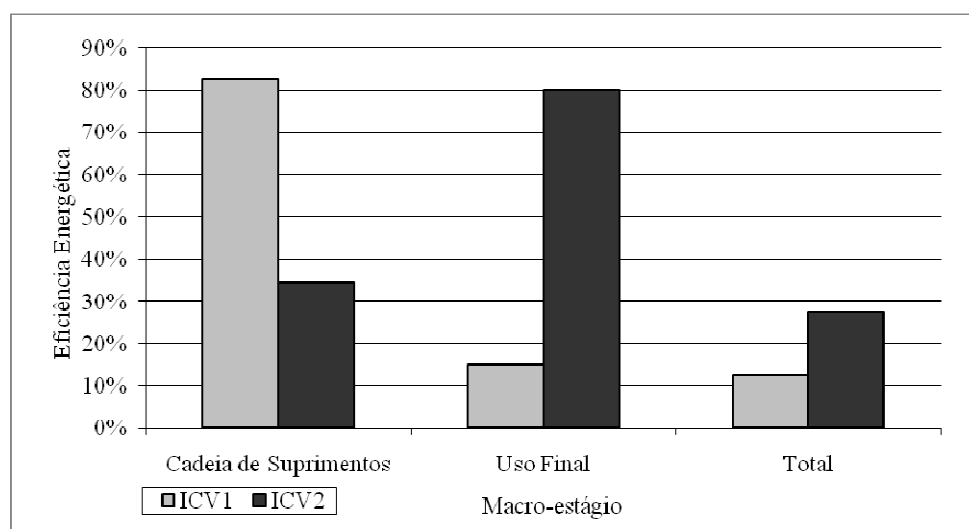


Figura 43. Gráfico comparativo entre as eficiências energéticas dos ICV₁ e ICV₂ na profundidade de macro-estágios

Numa análise sequencial entre meso-estágio, a diferença entre os valores verificados para a “produção da matéria-prima” entre [E1] (95,4%) e [E2] (89,9%) ocorre também em função da maior quantidade de processos neste estágio em [E2]. Este meso-estágio em [E1] consiste nos micro-estágios de exploração e produção de gás natural. Em [E2], além desses micro-estágios, a “produção de matéria-prima” deve agregar as eficiências dos processos de transferência do GN (96,5%) para as UPGNs e a manufatura do gás natural nestas unidades de processamento (97,6%). Desta forma, comparativamente, [E1] leva vantagem sobre [E2] em termos de eficiência energética na produção da matéria-prima.

O estágio “transporte de matéria-prima” em [E1] também leva vantagem em relação à [E2] (figura 44), ainda que essa diferença tenha sido de apenas 1%. Quanto ao estágio “produção da fonte de energia”, a diferença aumenta consideravelmente para 46%. A alta eficiência na produção de gás natural nas UPGNs (97,6%) se destaca diante da eficiência de 51,5% alcançada pelas termelétricas.

O “transporte e a distribuição” das fontes energéticas refletem maior eficiência no transporte de GNC (92%, contra 77,7% do transporte de EE). O valor máximo alcançado por este meso-estágio na cadeia da EE foi de 83,1%, ainda inferior ao valor médio encontrado para o GNC (92%).

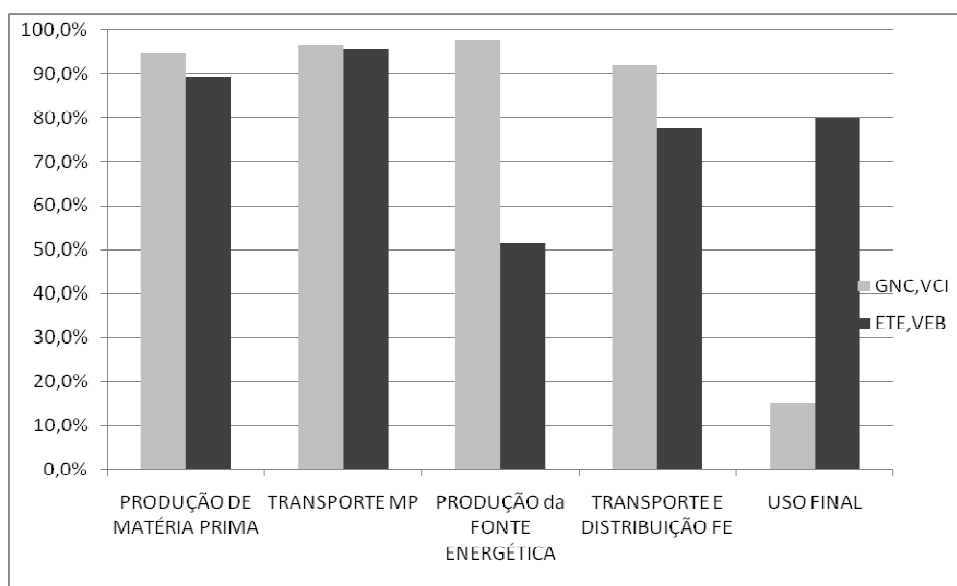
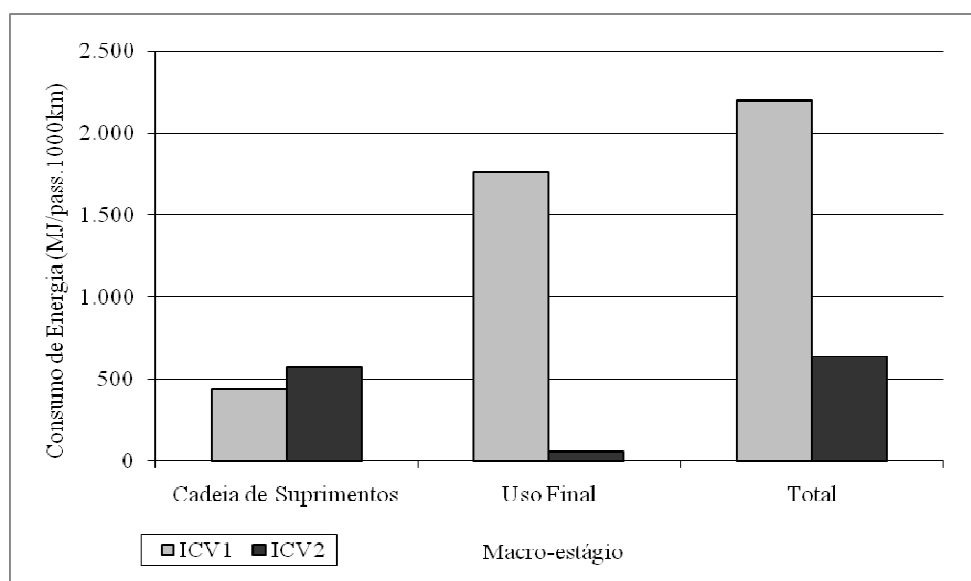


Figura 44. Gráfico comparativo entre as eficiências energéticas dos ICV₁ e ICV₂ – na profundidade de meso-estágios

6.4.2. Comparações e Conclusões referentes a [F1'] e [F2']

O consumo de energia total do ICV₁ foi de 2.196,4 MJ/(pass*1000km), enquanto no ICV₂ este valor foi de 633,5 MJ/(pass*1000km); uma diferença de 247%. Esse resultado confirma a hipótese sugerida do item 1.2: “considerando o ciclo de vida das fontes de energia, o uso de GN em usinas termelétricas para a produção de energia elétrica para uma frota de automóveis elétricos a bateria pode apresentar... menor consumo de energia do que a utilização em prática atualmente, que é a do uso de gás natural comprimido em motores de combustão interna (MCI).”.

Observando a matriz [F2'] em nível de macro-estágios (figura 45) é possível verificar que dos 633,5MJ/(pass*1000km), 90,5% é consumido pela cadeia de suprimentos, sendo os restantes 9,5% pelo uso final. Esta situação se inverte quando se observa [F1']: a cadeia de suprimentos do ICV1 consome apenas 20 % da energia total (2.196,4MJ/(pass*1000km)), enquanto o VCI é responsável por 80% da demanda de energia deste ICV₁.

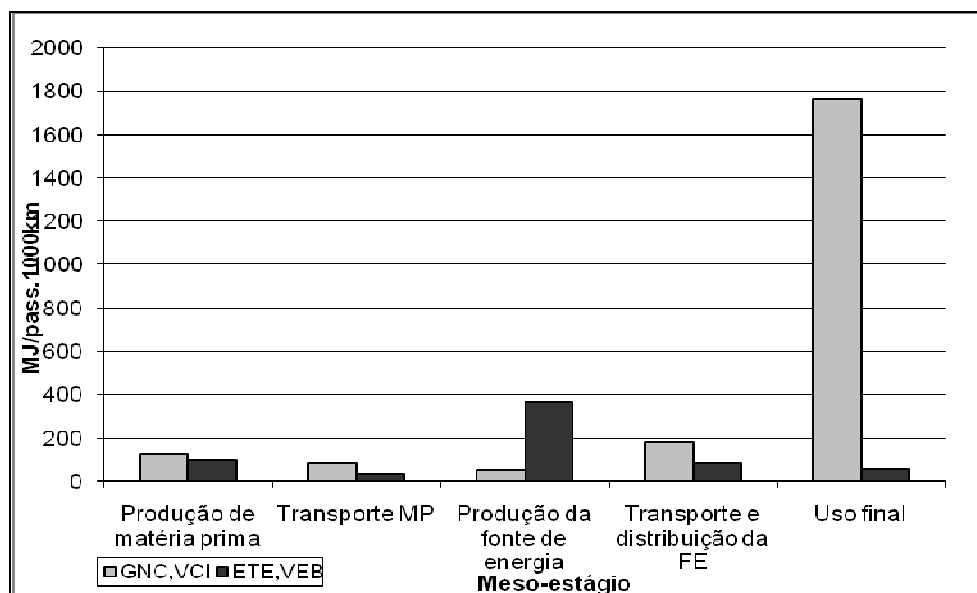


Fonte: tabelas 36 e 37

Figura 45. Consumo energético dos ICV₁ e ICV₂ – na profundidade de macro-estágios

A partir da figura 46 pode-se verificar que o consumo de energia pelo estágio do uso final em [F1'] é o maior entre seus meso-estágios, enquanto em [F2'], este valor é atribuído à produção da fonte de energia. Ainda que a cadeia de suprimentos do ICV₁

seja mais eficiente em relação à do ICV₂, a alta demanda de energia do VCI acarreta altos valores absolutos de consumo em todos os meso-estágios anteriores ao uso final. Ou seja, ainda que uma cadeia de suprimentos seja relativamente mais eficiente do que uma outra, o alto consumo de seu uso final pode comprometer essa vantagem, pois afeta todos os estágios anteriores.



Fonte: tabelas 36 e 37

Figura 46. Gráfico do consumo de energia em [F1'] e [F2']

Os valores contidos nas matrizes [F1'] e [F2'], na base funcional, mostram resultados sob a ótica do real aproveitamento da energia entre os ciclos de vidas analisados, que até então estavam representados como as eficiências energéticas em [E1] e [E2]. Observa-se a vantagem do VEB associada não apenas em relação à eficiência energética (15% do VCI, contra 80% do VEB) como foi verificado em [E1] e [E2], mas principalmente em relação à quantidade de energia requerida por km percorrido, indicando uma grande vantagem do VEB sob este aspecto. Em [F1'], para promover o deslocamento de 1,5 passageiros em 1000km de distância, é necessário abastecer o VCI com 2073MJ de gás natural (ANEXO IV). Já em [F2'], para o VEB percorrer esta mesma distância, com os mesmos 1,5 passageiro, ele deve ser abastecido com apenas 302MJ de eletricidade (ANEXO VI).

O meso-estágio referente ao “transporte e distribuição” de GNC, ainda que mais eficiente, gasta 180 MJ/(pass*1000km) frente aos 86,7 MJ/(pass*1000km) do estágio análogo em [F2’]. Este estágio é o que antecede imediatamente o estágio de uso final. A quantidade de energia demandada no uso final reflete diretamente nas quantidades de energia que os estágios que o antecedem deverão prover. Em outras palavras, um alto valor absoluto no consumo energético no uso final, implica numa alta provisão de energia a partir dos estágios anteriores. E por mais que estes últimos sejam eficientes, o total de energia consumida no ciclo de vida pode ser alto.

O resultado deste estudo comparativo favorece a implementação do ICV₂ como alternativa para melhoria em 247% do aproveitamento energético do gás natural da Bacia de Campos como fonte de energia para o transporte urbano de veículos leves na cidade do Rio de Janeiro.

Capítulo 7. Conclusões finais da dissertação e sugestões para trabalhos futuros

7.1. CONCLUSÕES SOBRE A DISSERTAÇÃO

Este capítulo encerra a dissertação apresentando um conjunto de conclusões e recomendações sobre os principais pontos abordados. As conclusões consideram aspectos de todos os capítulos e dos principais resultados obtidos no capítulo 6.

Em todo momento foi mantido o foco no objeto de estudo definido no capítulo 1: o ciclo de vida das fontes de energia GNC e ETE para uso em transportes. Através de pesquisas em campo, revisões bibliográficas e da utilização de conceitos e ferramentas de ACV, foi possível alcançar o principal objetivo desta dissertação: “estabelecer uma análise comparativa, considerando a eficiência energética e o consumo de energia, entre o ciclo de vida do GNC, disponível no país, e o ciclo de vida da energia termelétrica produzida a partir de termelétricas a GN e utilizada a veículos elétricos a bateria.”.

As cadeias de suprimentos contidas nos capítulos 2 e 3 permitiram uma melhor visão de cada ciclo de vida num ambiente onde se admite todas suas possibilidades. Quando essas cadeias são retomadas no capítulo 6, sofrem diversas restrições, desejáveis, impostas pelo escopo da análise dos ciclos de vida, que permitem a definição dos modelos de ciclo de vida com cadeias de suprimentos mais enxutas, viabilizando uma análise mais profunda e objetiva.

O capítulo 4 mostra que as adaptações de veículos equipados com motores de combustão interna vêm aumentando. Com a ampliação da rede de gasodutos de transportes e distribuição, esse número deve continuar crescendo. Por outro lado, a tecnologia do VEB vem ganhando espaço no cenário mundial, principalmente no Japão e Europa. As dificuldades tecnológicas, como a questão da autonomia das baterias, estão sendo vencidas através de pesquisas voltadas para o aprimoramento das tecnologias já conhecidas e para novas descobertas. Enquanto isso, as barreiras

econômicas para a comercialização dos VEBs vêm sendo contornadas pelos incentivos dos governos de cada região.

A escolha de um procedimento como instrumento que direciona e coordena as pesquisas em torno do estudo de ciclo de vida pode ajudar muito na elaboração de teses e dissertações acerca do assunto (ACV), como ocorreu no presente trabalho. O capítulo 5 apresentou o procedimento escolhido e demais observações que conduziram sua aplicação no sexto capítulo. O procedimento proposto por D'AGOSTO (2004) começa antes mesmo de sua aplicação: os capítulos 2, 3, 4 e 5 são fundamentais para formar a base do conhecimento sobre o assunto a ser explorado através do procedimento proposto. Pode-se dizer que o sucesso da análise final do procedimento se deve em parte pela gama de informações acumuladas nesses capítulos preliminares.

Após esse esforço preliminar, a aplicação do procedimento é facilitada pelas etapas claras e bem definidas, quando a dificuldade passa a ser a obtenção de dados e informações em campo (dados históricos de consumo energético, descrição detalhada dos processos e tecnologias envolvidas *etc.*). Um estudo de ciclo de vida é, por definição, rico em dados e informações, todavia, a obtenção destes talvez seja o maior desafio de um estudo de ACV no Brasil. As fontes de informação são diversas entidades como empresas privadas, públicas e órgãos do governo. Este ambiente onde as informações estão descentralizadas, naturalmente já impõe a primeira dificuldade: concentrar dados que se encontram pulverizados.

Outra questão é sobre a disponibilidade dos dados detidos, porém não disponibilizados em seus sítios virtuais na *internet*, pelos órgãos governamentais e as empresas da indústria do petróleo e gás, de energia elétrica, de transportes *etc.* Na maioria das vezes é necessário comunicar-se via *email* e/ou agendar entrevistas com profissionais de áreas específicas para se obter os dados necessários. A receptibilidade destes profissionais varia de acordo com sua disponibilidade, personalidade e sua própria visão e entendimento sobre a importância de um estudo de ACV. Diante dessas dificuldades que por si só já podem levar a ACV à falência, a impetuosidade do pesquisador passa a ser fator decisivo para viabilizar a conclusão do estudo. Caso contrário, aumenta-se as

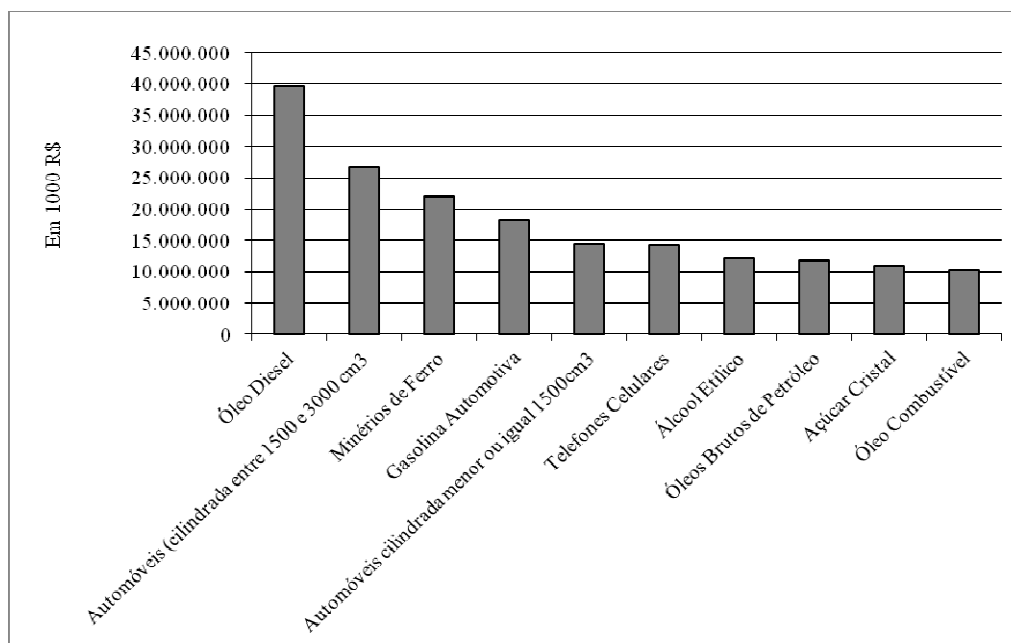
chances do estudo ficar limitado a obras acadêmicas que muitas vezes não retratam as abrangências geográficas, temporais e tecnológicas definidas no escopo do estudo.

O cumprimento do objetivo estipulado permitiu verificar que o melhor ciclo de vida a ser aplicado em termos de uso da energia associado à matéria-prima fóssil “gás natural” é o ICV₂. A maior eficiência energética apresentada em [E2] e o menor consumo energético mostrado em [F2'] indicam como a energia aplicada em transportes pode ser mais bem aproveitada no Brasil. Entretanto, as futuras diretrizes políticas energéticas no setor devem partir das autoridades pensantes da área de transportes e de energia, assim como da força político-econômica da indústria de automóveis em geral.

A inserção do veículo elétrico à bateria em qualquer mercado deve ser seguida de uma série de adaptações que envolvem mais entidades do que apenas fabricante e consumidor final. É necessário que as empresas de energia se preparem para uma nova demanda noturna, dado que seria comum a recarga do VEB, de 8 horas, durante a noite. Adaptações em estacionamentos para disponibilizar tomadas para recarga, assim como o estabelecimento de mecanismos confiáveis de medição e sistemas de cobranças sobre a recarga em locais fora das residências. Ao mesmo tempo, as instalações elétricas e toda a infra-estrutura de produção transmissão e distribuição elétrica já existe e, na maioria do tempo, opera abaixo de sua capacidade, o que pode ser visto como uma vantagem no caso de um aumento da demanda por eletricidade no caso do RJ e até mesmo do Brasil.

Incentivos da iniciativa privada e do próprio governo são fundamentais para impulsionar o mercado dos VEBs. Num país como o Brasil, onde a venda do óleo diesel, de automóveis com cilindrada até 3000 cm³, da gasolina automotiva, álcool etílico, óleo combustível e outros óleos derivados de petróleo constituem os principais pilares da comercialização dos produtos industrializados (figura 47), fica mais evidente que viabilidade e o sucesso comercial dos VEBs no país também é principalmente uma questão de política e de visão estratégica do estado. O governo do Estado do Rio de Janeiro, sancionou uma lei em 14/04/2010 que entre outras considerações, atribui ao estado responsabilidades para controlar a emissão de poluentes. O setor de transportes, junto com o de siderurgia, é um dos principais poluidores neste sentido. Como o VEB

não emite gases poluentes, uma política de incentivos no sentido de substituir veículos leves equipados com motores de combustão interna (poluentes) por VEBs, no estado do RJ, poderia contribuir para o cumprimento desta nova lei.



Fonte: IBGE (2005)

Figura 47. Os dez maiores produtos e/ou serviços industriais, segundo valores de vendas

Quanto à questão da velocidade do VEB se firmar no mercado interno de automóveis, pode-se lembrar da facilidade em que os automóveis a álcool hidratado na década de 1980 (programa PROÁLCOOL de incentivo ao uso do álcool etílico hidratado carburante (AEHC) tiveram para conquistar mercado. Em 1980, a venda de carro à álcool não passavam de 10%, mas em 1983 já tinha 90% das vendas de automóveis do país (ANFAVEA, 2008). O mesmo aconteceu com os veículos *flexfuel*. Conforme apresentado no capítulo 4, a produção dos carros *flexfuel* entrou modestamente no mercado brasileiro em 2003, mas em 2008 já representava 89% da produção de veículos leves.

Neste trabalho, buscou-se ampla utilização de conceitos já bem definidos e difundidos no meio acadêmico e a articulação entre eles no intuito de valorizar o aspecto da leitura técnica e da consolidação dos mesmos (os conceitos). Esta consolidação contribui para evitar que um determinado termo ganhe novos sentidos e significados, gerando conflitos

entre as linguagens utilizadas por diferentes áreas do conhecimento, que muitas vezes se unem para um compromisso maior.

Sobretudo, esta dissertação é mais uma contribuição em estudos de ACV para fontes energéticas associadas a transporte, e pode servir de referência para o aprofundamento deste ou elaboração de demais estudos de ACV voltadas para transportes.

Por último, vale ressaltar que não foi encontrado em nenhuma referência bibliográfica um trabalho semelhante a este, que estabelecesse uma análise comparativa entre o ciclo de vida do gás natural comprimido para uso em VCI e da energia termelétrica a gás para uso em veículos elétricos à bateria.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Segue abaixo algumas recomendações para trabalhos futuros em análises de ciclos de vida a partir do presente estudo.

- Incluir emissões atmosféricas como CO₂ e metano nos inventários de ciclo de vida.
- Incluir custos diretos em cada processo dos meso-estágios de cada ICV.
- Incluir o consumo de água nos processos, bem como a questão de segurança ambiental e uso do solo de forma a estabelecer uma análise comparativa.
- Agregar a energia hidrelétrica, eólica e nuclear na produção da fonte de energia elétrica (ICV₂), de forma a buscar aproximar o estudo da realidade energética brasileira.
- Incluir a gestão de resíduos em todas as etapas que geram resíduos sólidos, gasosos e/ou líquidos.
- Incluir análise dos impactos ambientais associados ao uso do solo e da água pelos processos envolvidos.
- Incluir no estudo outro ICV, para uso de GNC em veículos elétricos híbridos.
- Comparar o ICV do (GNC,VEB) com um inventário de ciclo de vida da gasolina para uso em veículos híbridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEGÁS, 2009, *Dados sobre Comercialização de Gás Natural no Brasil em 2008*, Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado, site: www.abegas.org.br, acessado em 19/03/2009.
- ABVE, 2009, Associação Brasileira do Veículo Elétrico, site: <http://www.abve.org.br>, acessado em 20/05/2009.
- ALLY J. et PRYOR T., 2007, “Life-cycle assessment of diesel, natural gas and hydrogen fuel bus transportation systems”, *Journal of Power Sources* 170, pp.401-411.
- ALMEIDA, S. M. GOMES, 1998, *Estudo da técnica de análise do ciclo de vida e sua aplicação como ferramenta de gestão ambiental nas empresas*. Tese realizada como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.) na COPPE/UFRJ.
- ANEEL, 2007, *Perdas técnicas, comerciais e seus impactos na TUSD-Tarifa de uso dos sistemas de distribuição*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2007.
- ANEEL, 2008, Agência Nacional de Energia Elétrica, *Atlas de Energia Elétrica do Brasil* 3ª Edição.
- ANFAVEA, 2008, *Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2008*, Agência Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.
- ANP, 2002, *A queima de gás natural no Brasil*, Nota Técnica nº10/02/SCG, Site: http://www.anp.gov.br/doc/gas/nota_tec_010.pdf, acessado em 10/03/2009.
- ANP, 2004. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis, *Indústria do Gás Natural – Estudo para Elaboração de um Modelo de Desenvolvimento da Indústria Brasileira de Gás Natural*.

- ANP, 2009a, *Dados sobre Produção, Importação, Consumo e Setor de Gás*, Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, site: www.anp.gov.br, acessado em 23/03/2009.
- ANP, 2009b, *Definições do Glossário ANP*, Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, site: www.anp.gov.br, acessado em 23/03/2009.
- ANP, 2009c, Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis, *Dados sobre preços do GNC ao consumidor*. Site: www.anp.gov.br/preco, acessado em 31/05/2009.
- ANP, 2010, *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás e Biocombustíveis 2009*. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Rio de Janeiro, 2010.
- ANUÁRIO, 2009, Revista Análise Energia. 16^a ed. Análise Editorial, São Paulo, Dezembro, 2008.
- APTERA, 2009, *Informações sobre o veículo “APTERA”*, APTERA MOTORS, Site: <http://www.aptera.com/aboutus.php>, acessado em 23/05/2009.
- ARAGONA, M., 2003, “*Ciências do Meio-Ambiente: Termelétricas a Gás Natural*”, Universidade Federal de Mato Grosso, FAET – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia., pp.13-14, Nov. 2003.
- ASPRO, 2010, *Informações sobre consumo de energia dos compressores ASPRO*, fornecido através de e-mail em 10/02/2010.
- BEN, 2008, *Balanço Energético Nacional 2008*, In: Ministério de Minas e Energia, Brasília, DF site: <http://www.mme.gov.br>, acesso em 26/02/2009.
- BETTER PLACE, 2009, *Empresa provedora de serviços relacionados à tecnologia de veículos elétricos*. Site: <http://www.betterplace.com/solution/charging/>.

- BIG, 2009, *Banco de Informações de Geração*, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, site: www.aneel.gov.br, acessado em 17/08/2009.
- BNDES, 2006, *Evolução da Oferta e da Demanda de Gás Natural no Brasil*. Banco Nacional de Desenvolvimento Social e Econômico. Estudo Setorial 24, pp. 35-68, setembro 2006.
- BOSCH, R., 2005, *Manual de Tecnologia Automotiva*. 25ª Edição, São Paulo – SP, Editora Edgard Blucher LTDA.
- BP, *Statistical*, 2006, *BP Statistical Review of World Energy 2006*. Site: www.bp.com, acessado em 26/03/2009.
- CHEHEBE, J.R.B., 1998, *Análise do Ciclo de Vida do Produto – Ferramenta Gerencial da ISO 14000*, 1ª Ed, Rio de Janeiro, Qualitymark Editora.
- CHEVROLET, 2009, *Informações sobre o veículo “VOLT”*, CHEVROLET, site: <http://www.chevrolet.com>, visitado em 26/05/2009.
- CIÊNCIA, 2004, *Revista Ciência Hoje*, vol. 35, nº. 205, Junho/2004.
- CPFL, 2009, *Encarte de divulgação do Programa Veículo Elétrico*, distribuído pela empresa CPFL ENERIA, durante o Primeiro Seminário Brasileiro de Veículos Elétricos & Rede Elétrica 2009, no dia 30/06/2009, Rio de Janeiro, RJ.
- CTGAS, 2009, *Informações sobre transporte e mercado do gás natural*, Centro de Tecnologia do Gás. Site: www.ctgas.com.br acessado em 18/03/2009.
- COARI, 2009, *Informações sobre a inauguração do gasoduto Coari-Manaus*, site: <http://www.youtube.com/watch?v=X504lVQSc2M&feature=related>. acessado em 30/11/2009.

- D'AGOSTO, M. A. 2004, *Análise da eficiência da cadeia energética para as principais fontes de energia utilizadas em veículos rodoviários no Brasil*, Tese realizada como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.) na COPPE/UFRJ
- D'AGOSTO *et* KAHN, 2007 M. A. e RIBEIRO S. K., “Procedimento de inventário de ciclo de vida para comparação de alternativas de fontes de energia para o transporte no Brasil”, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- DELLGAS, 2010, Oficina adaptadora de veículos convencionais para uso do GNC. Informações sobre cilindros de GNC, Contato telefônico e pessoal, 19/01/2010.
- DINCA C. *et al.*, 2007, “A life cycle impact of the natural gas used in the energy in Romania”, *Journal of Cleaner Production* 15, pp. 1451-1462, Romênia.
- DIRIJA, 2009. Informações fornecidas por vendedores da concessionária de veículos “CHEVROLET Dirija”, Rua Barão do Amazonas 364, Niterói-RJ, em 18/05/2009.
- ELETROBRAS, 2009. *Informações sobre as linhas de transmissão de eletricidade, através do site: eletrobras.gov.br*, acessado em 10/01/2010.
- EPE, 2007, *Plano Nacional de Energia 2030, volume 5 Geração Termelétrica – Gás Natural*, In: Empresa de Pesquisa Energética, 2007.
- ERBER, P., 2009, Palestra ministrada pelo diretor do Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) no Primeiro Seminário Brasileiro de Veículos Elétricos & Rede Elétrica 2009, no dia 30/06/2009, Rio de Janeiro, RJ.
- FOLHA, 2009a, *Folha do GNV*, Folha do GNV, outubro de 2009 . ANO IX, nº 103. Rio de Janeiro, Brasil. Site: www.ngvgroup.com, acessado em novembro de 2009.

- FOLHA, 2009b, Folha do GNV, novembro de 2009. ANO VIII, nº 104. Rio de Janeiro, Brasil. Site: www.ngvgroup.com, acessado em dezembro de 2009.
- GASDUC, 2007, *Relatório de Impacto Ambiental da Construção de Gasodutos*. In: PETROBRAS, 2007.
- GASNET, 2009, *Dados sobre quantidade de postos por estado e informações sobre o mercado de gás nacional*. Site: www.gasnet.com.br, acessado em 31/03/2009.
- GASPOINT, 2010. *Informações sobre cilindro de GNC e kit gás*, site: <http://www.gaspoint.com.br>, acesso em 18/01/2010.
- GOEDECKE M. *et al.*, 2007, Life cycle cost analysis of alternative vehicles and fuels in Thailand”, *Energy Policy* 35, pp. 3236-3246, Tailândia.
- OLIVEIRA, J. E., 2004, *Um sonho forjado em fibra*. São Paulo – SP. Editora Labortexto Editorial.
- HACKNEY, J. *et* NEUFVILLE, R., 2001, “Life cycle of alternative fuel vehicles: emissions, energy and cost trade-offs.” *Transportation Research Part A* 35, pp. 243-266.
- HANDA, K. *et* YOSHIDA, H., 2007, “Development of Next-Generation Electric Vehicle “iMiev””, In.: *Mitsubishi Motors-TECHNICAL REVIEW* nº 19, 2007.
- HEKKERT M. P. *et al.*, 2005, “Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development”, *Energy Policy* 33, pp. 579-594, Holanda.
- HIBRIDA, 2009, *Revista Híbrida*, site: www.revistahibrida.com.br, acessado em 19/04/2009.
- HOUAISS, 2001, *Dicionário da Língua Portuguesa*, 1ª Ed., Rio de Janeiro – RJ, Editora Objetiva.

- IANGV, 2003, *Latest international NGV Statistics*, In: International Association on Natural Gas Vehicles. Site: <http://www.iangv.org>, acesso em 06/11/2008.
- IANGV, 2009, *Latest international NGV Statistics*, International Association on Natural Gas Vehicles, 2009. site: <http://www.iangv.org>.
- IEA, 2008a, *Key World Energy Statistics 2008*. International Energy Agency, 2008.
- IEA, 2008b, *International Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency – In support of the G8 Plan of Action, 2008*. In: Energy Agency, 2008.
- IEA, 2008c, *Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels 2008*. In: International Energy Agency, 2008.
- INMETRO, 2009, Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – *Informações sobre quantidade de oficinas credenciadas a adaptação de motores de combustão interna para uso do GNC*.
Site: http://www.inmetro.gov.br/infotec/oficinas/lista_oficinas.asp?end=&descr_ordem=&ind_situacao=&descr_titulo=&descr_estado=&descr_cidade=&descr_bairro=&pagina=29, acessado em 15/04/2009.
- INOVAÇÃO, 2009, Informações sobre sistemas regenerativos. Site: <http://www.inovacaotecnologica.com.br>, acessado em 01/07/2009.
- ISO, 1996. International Organization of Satandardization, Norma ISO nº 6976 - “*Natural gas – Calcutation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition*”, Genebra, Suíça, 1995.
- ITAIPU, 2009, *Projeto Veículo Elétrico*, Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, site: <http://www2.itaipu.gov.br/ve/>, acessado em 13/05/2009.

- KAHN, 2001, SUZANA K. RIBEIRO. *Transporte Sustentável – alternativas para ônibus urbanos*, Rio de Janeiro – RJ, Editora COPPE/UFRJ.
- LEE Kun-Moo *et al.*, 2004, “Life cycle inventory analysis for electricity in Korea, *Energy* 29, pp. 87-101, Coréia do Sul.
- LIGHT, 2008, Revisão tarifária periódica – Audiência Pública nº 56/2.008, Rio de Janeiro, outubro de 2008.
- LIGHT, 2009, Informações sobre perdas da atividade de transmissão e distribuição do setor elétrico brasileiro. Site:
<http://www.museulight.com.br/Biblioteca/BibliotecaDetalhe.aspx?tm=4&id=3>,
acessado em 24/11/2009,
- MAITRA, 2009, ARINDAM. Artigo “*Evaluation of the Impact of Plug-in Electric Vehicle Loading on Distribution System Operation*”.
Site: http://ver2009.inec.org.br/downloads/Arindam_Maitra_paper.pdf, acessado em 02/07/2009.
- MITSUBISHI, 2009, *Informações sobre o veículo iMiEV*, MITSUBISHI MOTORS, site: www.mitsubishi-motors.com/special/ev/, acessado em dezembro de 2009.
- MITSUBISHI, 2010a, Filme técnico japonês de apresentação do veículo iMiEV, site: <http://www.youtube.com/watch?v=dXGqRJdHMF&feature=related>, acessado em janeiro de 2010.
- MITSUBISHI, 2010b, *Informações sobre o veículo MiEV*, MITSUBISHI MOTORS, <http://media.mitsubishi-Motors.com/pressrelease/e/products/detail1940.html>, acessado em janeiro de 2010.
- MITSUBISHI, 2010c, *Ficha técnica do veículo MiEV*, MITSUBISHI MOTORS, <http://www.mitsubishi-motors.com/special/ev/whatis/index.html>, acessado em 02/02/2010.

- NANSAI *et al.*, 2001, “Life-cycle analysis of charging infrastructure for electric vehicles”, *Applied Energy* 70, Japão, 2001.
- NUNES, A. J., 2006, Diretor do INEE- Instituto Nacional de Eficiência Energética, site:http://www.abve.org.br/downloads/ApresentacaoVEH_AEA_13jul06.ppt, acessado em janeiro de 2009.
- NUNES, A. J., 2009, Palestra ministrada pelo presidente da Associação Brasileira do Veículo elétrico (ABVE) no Primeiro Seminário Brasileiro de Veículos Elétricos & Rede Elétrica 2009, no dia 30/06/2009, Rio de Janeiro, RJ.
- ONS, 2009, *Mapa das Linhas de Transmissão de Eletricidade do Sistema Interligado Nacional*, Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2009. Site: www.ons.org.br, acessado em 20/03/2009.
- ONS, 2009b, *Informações sobre perdas técnicas na distribuição*, Operador Nacional do Sistema Elétrico, via e-mail, em 15/01/2010.
- PETROBRAS, 2009, *Informações da indústria do petróleo e gás*, a partir do site: www.petrobras.com.br.
- PNP, 2009, *Plano de Negócios da Petrobras 2009-2013*, In: site: www.petrobras.com.br, acessado em 21/03/2009.
- QUATRO, 2009, *Vendas de carros até novembro de 2009*, Site: <http://quatorrodas.abril.com.br/QR2/autoservico/top50/2009.shtml>, acessado em 04/01/2010.
- RAMOS-REAL F. J. *et al.*, 2007, “The effects of introducing natural gas in the Canary Islands for electricity generation”, *Energy Policy* 35, pp. 3925-3935, Espanha.

- REVA, 2009, Fabricante do veículo REVAi, site: <http://www.revaindia.com/aboutevs.htm>, acessado em 17/05/2009.
- SALGADO, V. G., 2007, *Indicadores de Ecoeficiência e o Transporte de Gás Natural*, Rio de Janeiro, RJ – Brasil, Editora Interciência.
- SILVA, S. D. 2010, Registros sobre consumo de VCI durante os meses de janeiro e fevereiro de 2010.
- SMART, 2009 , Fabricante do veículo FORTWO ED, site: www.smart.com, acessado em 01/07/2009.
- TESLA, 2009, *Informações sobre os veículos elétricos MODEL S e ROADSTER*, TESLA MOTORS, Site: <http://www.teslamotors.com>, acessado em 17/05/2009.
- TOLMASQUIM, MAURÍCIO TIOMMO (coordenador), 2005, *Geração de Energia Elétrica no Brasil*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ – Brasil.
- TRANSPETRO, 2009, *Informações sobre gasodutos*, TRANSPETRO, site: www.transpetro.com.br, acessado em junho de 2009.
- TRANSPETRO, 2010a, Informações sobre processamento de gás natural de Cabiúnas, contatos pessoais e por email, em janeiro de 2010.
- TRANSPETRO, 2010b, Relatório de Informações de Gasodutos, site: <http://www.transpetro.com.br>, acessado em 01/02/2010
- TRANSPETRO, 2010c, Relatório de Balanço material de gás do Pólo de Cabiúnas, através de contato pessoal em janeiro de 2010.
- USGS, 2009, U. S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries*, Site: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/mcs-2009-lithi.pdf>. Acessado em 19/06/2009.

- VAZ *et al.*, 2008, CÉLIO EDUARDO MARTINS VAZ, JOÃO LUIZ PONCE MAIA, WALMIR GOMES DOS SANTOS, *Tecnologia da Indústria do Gás Natural*. 1ª Ed, São Paulo, Editora Blucher.
- ZEUS, 2009, ZEUS VIRTUAL ENERGY LIBRARY, site:<http://www.zeuslibrary.com>, acessado em 01/04/09.
- WAGNER U. *et al.*, 2006, “Energetic life cycle assessment of fuel cell powertrain systems and alternative fuels in Germany”, *Energy* 31, pp. 3062-3075, Alemanha.
- WEO, 2006, *World Energy Outlook 2006*, International Energy Agency, site:www.iea.org, acessado em 12/02/2009.
- WISER, W. H., 2000, “*Occurrence, production, conversion and use*. Springer”, Energy Resources, New York, USA.

**ANEXO I – TERMINAL DE REGASEIFICAÇÃO NA BAÍA DE GUANABARA
RIO DE JANEIRO (à direita na foto)**



Fonte: PETROBRAS (2009)

ANEXO II – REDE DE OPERAÇÃO DO SIN – LINHAS DE TRANSMISSÃO



Fonte: ONS (2009)

ANEXO III. TABULAÇÃO DA PESQUISA COM TAXISTAS

	TIPO VEÍCULO	ANO	CILINDRO*	CIDADE	ESTRADA	Km média/dia	OBS.	AUTONOMIA
				Km/m ³	Km/m ³			
1	UNO	2008	8	11	14	100	AR	88
2	CORSA	2005	16	12	14	40	AR	192
3	GOL	1999	10	14	15	80		140
4	PALIO	1999	16	13	15	110	AR	208
5	CORSA	2001	16	13	15	100		208
6	GOL	2001	16	13	15	80	AR	208
7	CORSA	2002	12	11	14	250	AR	132
8	CORSA	1999	8	11	14	100	AR	88
9	PALIO	1999	16	12	15	200	AR	192
10	PALIO	2002	16	14	16	150		224
11	CORSA	2007	8	11	14	150	AR	88
12	UNO	2006	8	14	16	30		112
13	CORSA	2006	18	10	13	200	AR	180
14	CELTA	2004	10	14	16	150	AR	140
15	CORSA	2007	16	10	12	300	AR	160
16	CORSA	2001	16	10	13	200	AR	160
17	CORSA	2006	16	11	13	250	AR	176
18	CORSA	2005	16	11	14	200	AR	176
19	CORSA	2007	8	15	17	150		120
20	PALIO	1999	6,5	8	10	100	AR	52
21	PALIO	2009	8	13	15	200	AR	104
22	CORSA	2002	16	12	14	100	AR	192
23	PALIO	1999	8	13	16	120		104
24	UNO	2002	8	12	14	250	AR	96
25	CORSA	2000	10	10	13	110	AR	100
26	CELTA	2006	16	13	15	100	AR	208
27	CORSA	2003	8	12	15	150	AR	96
28	CORSA	2007	12	10	13	40	AR	120
29	UNO	2000	16	12	14	200	AR	192
30	PALIO	1999	8	13	15	250	AR	104
31	CORSA	2005	8	13	16	200	AR	104

*para se ganhar autonomia, sem perder muito espaço no porta-malas (onde normalmente é instalado o cilindro de GNC), é comum utilizar dois cilindro de 8m³, totalizando 16m³ de capacidade.

ANEXO IV. MEMÓRIA DE CÁLCULO [F1] A PARTIR DE [E1]

FLUXO DE ENERGIA MESO-ESTÁGIOS	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA	TRANSPORTE MP	PRODUÇÃO GN	TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO GN	USO FINAL
ENTRADA [MJ/pass.1000km]	2.507,3	2.392,3	2.308,6	2.253,2	2.073,0
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	95,4%	96,5%	97,6%	92,0%	15%
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	115,0	83,7	55,4	180,2	1.762,1
SAÍDA [MJ/pass.1000km]	2.392,3	2.308,6	2.253,2	2.073,0	311,0
Participação % no consumo do ciclo de vida	5,2%	3,8%	2,5%	8,2%	80,2%

ANEXO V. REGISTROS (SILVA, 2010)

Marca: Volksvagem

Modelo: Fox 1.0

Peso (kg): 963

Potência (cv): 76

CILINDRO: 8m³

Data	Abastecimento [m ³]	Valor [R\$]	Quilometragem percorrida [KM]	Desempenho [km/m ³]	[R\$/km]	AUTONOMIA
04/12/2009	6,77	9,33	84,4	12,47	0,11	100
07/12/2009	6,4	9,55	88,9	13,89	0,11	111
20/12/2009	5,41	8,11	65,5	12,11	0,12	97
20/12/2009	6,12	9,17	79	12,91	0,12	103
21/12/2009	6,81	9,47	68,3	10,03	0,14	80
22/12/2009	6,64	8,62	76	11,45	0,11	92
23/12/2009	6,16	9,29	68,3	11,09	0,14	89
25/12/2009	6,23	7,84	67,4	10,82	0,12	87
26/12/2009	5,93	8,89	71,8	12,11	0,12	97
27/12/2009	6,29	9,61	63,2	10,05	0,15	80
28/12/2009	6,02	9,03	71,4	11,86	0,13	95
29/12/2009	6,78	9,39	80,5	11,87	0,12	95
30/12/2009	4,88	6,72	88,6	18,16	0,08	145
31/12/2009	5,52	8,28	55,3	10,02	0,15	80
02/01/2010	4,73	7,09	61,1	12,92	0,12	103
02/01/2010	5,67	8,5	73,7	13,00	0,12	104
03/01/2010	6,31	9,4	76	12,04	0,12	96
03/01/2010	5,93	9,19	77,3	13,04	0,12	104
03/01/2010	6,67	9,99	71,7	10,75	0,14	86
04/01/2010	3,98	5,48	81	20,35	0,07	163
05/01/2010	5,6	7,72	63,5	11,34	0,12	91
05/01/2010	4,97	7,45	74,2	14,93	0,10	119
06/01/2010	5,17	7,12	59	11,41	0,12	91
06/01/2010	4,59	5,52	67,2	14,64	0,08	117

07/01/2010	5,45	7,51	63,6	11,67	0,12	93
07/01/2010	5,04	6,35	47,04	9,33	0,13	75
08/01/2010	3,99	5,5	72,5	18,17	0,08	145
09/01/2010	7,22	9,08	63	8,73	0,14	70
09/01/2010	5,74	8,89	50,5	8,80	0,18	70
10/01/2010	4,81	7,28	43,8	9,11	0,17	73
10/01/2010	5,45	6,81	77,9	14,29	0,09	114
11/01/2010	6,27	9,41	59,3	9,46	0,16	76
13/01/2010	5,95	8,92	81,2	13,65	0,11	109
14/01/2010	6,09	9,13	96	15,76	0,10	126
15/01/2010	6,23	9,34	78,2	12,55	0,12	100
16/01/2010	7,29	10,94	60,4	8,29	0,18	66
18/01/2010	5,33	7,35	72,22	13,55	0,10	108
18/01/2010	5,58	8,37	87	15,59	0,10	125
21/01/2010	6,82	9,56	97,9	14,35	0,10	115
22/01/2010	6,82	9,4	81,9	12,01	0,11	96
23/01/2010	6,99	10,47	73,3	10,49	0,14	84
25/01/2010	6,32	9,47	51,5	8,15	0,18	65
26/01/2010	6,16	8,49	89,5	14,53	0,09	116
27/01/2010	6,09	8,39	81,8	13,43	0,10	107
28/01/2010	6,18	8,49	70,4	11,39	0,12	91
29/01/2010	5,81	7,54	67,8	11,67	0,11	93
30/01/2010	6,3	8,18	76	12,06	0,11	97
01/02/2010	6,15	9,22	89,3	14,52	0,10	116
03/02/2010	6,29	9,43	75,4	11,99	0,13	96
05/02/2010	5,98	8,97	84,9	14,20	0,11	114
Média km/m3		8,47	Média km/m3	12,42	0,12	99,4

ANEXO VI. MEMÓRIA DE CÁLCULO [F2] A PARTIR DE [E2]

FLUXO DE ENERGIA MESO-ESTÁGIOS	PRODUÇÃO DE MATÉRIA PRIMA	TRANSPORTE MP	PRODUÇÃO EE	TRANSPORTE E DISTRIBUIÇÃO EE	USO FINAL
ENTRADA [MJ/pass.1000km]	873,5	785,0	749,6	386,1	300,0
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	89,9%	95,5%	51,5%	77,7%	80%
CONSUMO [MJ/pass.1000km]	88,5	35,3	363,6	86,0	60,0
SAÍDA [MJ/pass.1000km]	785,0	749,6	386,1	300,0	240,0
Participação % no consumo do ciclo de vida	14,0%	5,6%	57,4%	13,6%	9,5%

ANEXO VII. FATORES DE CONVERSÃO

TRANSPETRO 2010c	PCS GN não processado	47,487 MJ/m ³
TRANSPETRO 2010c	PCS GN processado	37,321 MJ/m ³
D'AGOSTO, 2004	Fator de conversão de PCS para PCI	0,9
TRANSPETRO 2010c	Densidade GN não processado	0,751
TRANSPETRO 2010c	Densidade GN processado	0,58
ISO, 1996	Massa específica do C ₅ ⁺	750 kg/m ³
ANP, 2010	PCI do C ₅ ⁺	32.752 MJ/m ³
ANP, 2010	Massa específica do GLP	552 kg/m ³
ANP, 2010	PCI do GLP	26.098 MJ/m ³
ANP, 2010	Massa específica do LGN	580kg/m ³
ANP, 2010	PCI do LGN	25.990 MJ/m ³
	1kcal = 0,004184 MJ	
	1MWh=3.600MJ	