

**METODOLOGIA PARA ESTUDOS DA VIABILIDADE  
ECONÔMICO-FINANCEIRA NO USO DO GÁS  
NATURAL EM INSTALAÇÕES PREDIAIS  
RESIDENCIAIS: UMA ABORDAGEM VIA  
DINÂMICA DE SISTEMAS**

**CÁSSIMA ZATORRE ORTEGOSA**

**CAMPO GRANDE**

**2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**METODOLOGIA PARA ESTUDOS DA VIABILIDADE**  
**ECONÔMICO-FINANCEIRA NO USO DO GÁS**  
**NATURAL EM INSTALAÇÕES PREDIAIS**  
**RESIDENCIAIS: UMA ABORDAGEM VIA**  
**DINÂMICA DE SISTEMAS**

Dissertação submetida à  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

**CÁSSIMA ZATORRE ORTEGOSA**

Campo Grande, Fevereiro de 2006.

**METODOLOGIA PARA ESTUDOS DA VIABILIDADE  
ECONÔMICO-FINANCEIRA NO USO DO GÁS NATURAL  
EM INSTALAÇÕES PREDIAIS RESIDENCIAIS: UMA  
ABORDAGEM VIA DINÂMICA DE SISTEMAS**

Cássima Zatorre Ortégosa

‘Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em *Planejamento de Sistemas Elétricos*, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.’

---

Prof. Jéferson Meneguín Ortega, D.Eng.  
Orientador

---

Prof. João Onofre Pereira Pinto, Ph.D.  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

---

Prof. Jéferson Meneguín Ortega, D.Eng.  
Presidente

---

Prof. Paulo Irineu Koltermann, D.Eng.

---

Prof. Gladis Bordin Schuch, D.Eng.

***“O rio atinge os seus objetivos porque aprendeu a contornar os obstáculos”***  
**(André Luís)**

Aos meus pais, Arnaldo e Nely,  
e ao meu namorado Fábio.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu orientador, professor Dr. Jéferson, sempre disponível a me auxiliar com muita compreensão e atenção.

Aos professores Dr. Paulo Koltermann e Dr<sup>a</sup> Gladis Schuch, pela disponibilidade e interesse em participarem da banca examinadora, ajudando a tornar este trabalho mais completo.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Energia Elétrica (DEL), que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

A todos os meus amigos do Programa de Pós-Graduação da Engenharia Elétrica, em especial a Kariliz, João Okumoto, Gervásio, Inez, Evânio e Lélío, pelos bons momentos que passamos juntos.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Ao Fábio, grande companheiro, pelo amor, carinho, paciência e incentivo nos momentos de desespero que enfrentei.

Aos meus pais, pelo amor, apoio e estímulo.

A todas as pessoas que contribuíram de alguma forma na elaboração desta dissertação, sintam-se agradecidos.

E acima de tudo a Jesus, o guia perfeito da humanidade, por me ajudar a tornar real este sonho.

Resumo da Dissertação apresentada a UFMS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

## **METODOLOGIA PARA ESTUDOS DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA NO USO DO GÁS NATURAL EM INSTALAÇÕES PREDIAIS RESIDENCIAIS: UMA ABORDAGEM VIA DINÂMICA DE SISTEMAS**

**Cássima Zatorre Ortégosa**

Fevereiro/2006

Orientador: Jéferson Meneguín Ortega, Dr.

Área de Concentração: Planejamento de Sistemas Elétricos

Palavras-chave: Gás natural; Instalações prediais residenciais; Dinâmica de sistemas; Competitividade; Análise de riscos.

Número de Páginas: 122

No Brasil, com o processo de reestruturação do setor elétrico, iniciado em meados da década de 90, e a conseqüente crise de energia elétrica, propiciou-se a criação de um grande mercado para o uso de fontes alternativas de energia, um caminho essencial em um mercado global mais competitivo onde a demanda por combustíveis menos poluentes aumenta expressivamente. O gás natural é o que vem recebendo mais investimentos por parte do governo federal, que tem o firme propósito de elevar a sua participação na oferta interna de energia primária. Contudo, para a consolidação de seu mercado, torna-se necessário uma política forte de incentivo ao aumento de consumo, principalmente pelo setor residencial, onde o gás se apresenta como uma alternativa viável e de fácil operação (quando comparado à energia elétrica), podendo aproximar-se do usuário final evitando etapas intermediárias de transformação energética. Além do mais, o aumento da participação do gás neste setor, contribui para um deslocamento de uso da eletricidade, possibilitando a postergação de grandes investimentos em expansões nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Neste contexto, o presente trabalho propõe uma ferramenta de apoio aos novos usuários deste setor, baseada na técnica de Dinâmica de Sistemas, no processo de análise da viabilidade econômico-financeira na utilização do gás natural em alternativa à energia elétrica, para o aquecimento de água em instalações prediais residenciais. Esta técnica de simulação torna-se importante para a abordagem do problema, visto permitir a representação do comportamento dinâmico das variáveis envolvidas, analisando os efeitos da competição destes dois energéticos (gás natural e energia elétrica) junto aos consumidores finais. Foram simulados diversos cenários, criados com base em diferentes perfis de consumo, no qual os resultados propiciaram realizar análises de sensibilidade a determinados parâmetros, com o objetivo de se verificar o comportamento do sistema. Os resultados demonstraram a influência de fatores, como os ajustes tarifários e a variação na taxa mínima de atratividade na viabilidade das alternativas propostas. Este estudo contribuiu, fortemente, para dirimir a concepção falsa de inviabilidade econômica de novas fontes de energia.

Abstract of Dissertation presented to UFMS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

## **METHODOLOGY FOR STUDIES OF THE ECONOMICAL-FINANCIAL VIABILITY IN THE USE OF THE NATURAL GAS IN INSTALLATIONS OF RESIDENTIAL BUILDINGS: AN APPROACH THROUGH SYSTEM DYNAMICS**

**Cássima Zatorre Ortégosa**

February/2006

Advisor: Jéferson Meneguín Ortega, Dr.

Area of Concentration: Planning of Electrical Systems

Keywords: Natural gas; Installations of residential buildings; System dynamics; Competitiveness; Analysis of risks.

Number of Pages: 122

In Brazil, with the process of restructuring of the electric sector, that begun in the middle of the decade of 90, and the consequent electric power crisis, the creation of a great market was propitiated for the use of alternative sources of energy, an essential way in a more competitive global market where the demand for less pollutant fuels increases expressively. The natural gas is the one that is receiving more investments on the part of the federal government, which has the firm purpose of elevating its participation in the intern offer of primary energy. However, for the consolidation of its market, it becomes necessary a strong incentive policy for the consumption increase, mainly for the residential sector, where the gas comes as a viable alternative and of easy operation (when compared to the electric power), that could approach of the final user, avoiding intermediate stages of energy transformation. Besides, the increase of the participation of the gas in this sector, contribute to a displacement of use of the electricity, making possible the postergation of great investments in expansions in the generation areas, transmission and distribution of electric power. In this context, the present work proposes a support tool to the new users of this sector, based on the technique of Systems Dynamics, in the process of analysis of the economical-financial viability in the use of the natural gas, alternatively to the electric power, for the heating of water in residential facilities. This simulation technique becomes important for the approach of the problem, as is allows the representation of the dynamic behavior of the involved variables, analyzing the effects of the competition of these two energetic (natural gas and electric power) next to the final consumers. Several sceneries were simulates, created with base in different consumption profiles, in which the results allowed to accomplish sensibility analyses to certain parameters, with the objective of verifying the behavior of the system. The results demonstrated the influence of factors, as the tariff fittings and the variation in the minimum rate of attractiveness in the viability of the proposed alternatives. This study contributed, strongly, for minimize the false conception of economical inviability of new sources of energy.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Motivação .....	1
1.3 Objetivos do Trabalho .....	2
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	2
1.4 Organização do Trabalho .....	3
1.5 Revisão Bibliográfica .....	3
<b>CAPÍTULO 2 – O GÁS NATURAL.....</b>	<b>8</b>
2.1 Introdução .....	8
2.2 Histórico do Mercado de Gás Natural .....	8
2.3 Principais Características .....	11
2.4 Vantagens na Utilização .....	12
2.5 Aplicações .....	15
2.5.1 <i>O Gás Natural no Setor Industrial</i> .....	16
2.5.2 <i>O Gás Natural no Setor Veicular</i> .....	18
2.5.3 <i>O Gás Natural no Setor Comercial</i> .....	19
2.5.4 <i>O Gás Natural na Geração de Eletricidade</i> .....	20
2.5.5 <i>O Gás Natural na Cogeração</i> .....	21
2.5.6 <i>O Gás Natural no Setor Residencial</i> .....	23
2.6 Formação do Preço do Gás Natural no Mercado .....	26
2.7 Considerações Finais .....	26
<b>CAPÍTULO 3 – MODELAGEM ECONÔMICO-FINANCEIRA PROPOSTA .....</b>	<b>28</b>
3.1 Introdução .....	28
3.2 Estruturação do Modelo Proposto .....	28
3.3 Aspectos de Implementação .....	29
3.3.1 <i>Considerações sobre Dinâmica de Sistemas</i> .....	30
3.3.1.1 <i>Diagramas de Laço Causal</i> .....	31
3.3.1.2 <i>Diagramas de Estoque e Fluxo</i> .....	34
3.4 Módulos do Modelo Proposto .....	36
3.4.1 <i>Módulo Técnico</i> .....	36
3.4.1.1 <i>Modelagem das Despesas na Utilização da Energia Elétrica</i> .....	36
3.4.1.2 <i>Modelagem das Despesas na Utilização do Gás Natural</i> .....	48
3.4.2 <i>Módulo Econômico</i> .....	59
3.4.3 <i>Módulo Tomada de Decisão</i> .....	61
3.4.3.1 <i>Método do Valor Presente Líquido (VPL)</i> .....	65
3.4.3.2 <i>Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)</i> .....	66
3.4.3.3 <i>Método do Payback (PB)</i> .....	66
3.5 <i>Interface</i> do Modelo Proposto .....	67
3.6 Considerações Finais .....	69

<b>CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA E RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>70</b>
4.1 Introdução .....	70
4.2 Metodologia .....	70
4.3 Configuração do Caso Base .....	71
4.4 Construção dos Cenários .....	72
4.4.1 <i>Cenário de Referência</i> .....	72
4.4.1.1 <i>Análise de Sensibilidade</i> .....	74
4.4.2 <i>Cenários de Evolução Tarifária</i> .....	76
4.5 Considerações Finais .....	87
<b>CAPÍTULO 5 – CONTRIBUIÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>88</b>
5.1 Introdução .....	88
5.2 Contribuições .....	88
5.3 Recomendações para Futuros Trabalhos .....	90
<b>ANEXO 1 - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 74.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO 2 - PORTARIA Nº 44, DE 29 DE AGOSTO DE 2005 (DIOSUL 6559 31/08/2005) .....</b>	<b>100</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estrutura do setor de energia elétrica .....	4
Figura 1.2 – Tarifas médias por classe de consumo no Brasil .....	5
Figura 2.1 – Evolução do consumo setorial de energia no Brasil .....	17
Figura 2.2 – Projeção da participação dos combustíveis na geração de energia elétrica.....	20
Figura 2.3 – Produtos do sistema de cogeração .....	21
Figura 3.1 – Modelo para análise econômico-financeira da utilização do gás natural em instalações prediais residenciais .....	29
Figura 3.2 – Diagrama de laço causal do modelo proposto .....	32
Figura 3.3 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização do chuveiro elétrico .....	42
Figura 3.4 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização da torneira elétrica .....	44
Figura 3.5 – DEF representativo da obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de energia elétrica .....	46
Figura 3.6 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de gás natural, em m <sup>3</sup> /mo, na utilização do aquecedor de água para banho .....	53
Figura 3.7 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de gás natural, em m <sup>3</sup> /mo, na utilização do aquecedor de água para torneira .....	55
Figura 3.8 – DEF representativo da obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de gás natural .....	57
Figura 3.9 – DEF representativo da análise econômico-financeira na utilização do gás natural em prédios residenciais .....	60
Figura 3.10 – Representação das variáveis de influência do custo no consumo de energia elétrica e de gás natural .....	62
Figura 3.11 – Gráfico representativo do comportamento da função das variáveis de influência do custo no consumo de energia elétrica ou de gás natural.....	63
Figura 3.12 – Representação das variáveis que permitem ao cliente comparar a despesa mensal de gás natural quando adotada a medição individual ou centralizada .....	64
Figura 3.13 – <i>Interface</i> do painel de controle da ferramenta proposta .....	68
Figura 3.14 – <i>Interface</i> do simulador de consumo de gás natural e de energia elétrica da ferramenta proposta, para o perfil “A” .....	69
Figura 4.1 – Resultado do cenário de referência, com um investimento inicial de R\$ 1.500,00.....	73

Figura 4.2 – Resultado da análise de sensibilidade do cenário de referência, utilizando o método do valor presente líquido .....	75
Figura 4.3 – Resultado da análise de sensibilidade do cenário de referência, utilizando o método da taxa interna de retorno e do <i>payback</i> .....	76
Figura 4.4 – Resultado para o perfil “A”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido .....	78
Figura 4.5 – Resultado para o perfil “B”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido .....	78
Figura 4.6 – Resultado para o perfil “C”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido .....	79
Figura 4.7 – Resultado para o perfil “D”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido .....	79
Figura 4.8 – Resultado para o perfil “A”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do <i>payback</i> .....	82
Figura 4.9 – Resultado para o perfil “B”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do <i>payback</i> .....	83
Figura 4.10 – Resultado para o perfil “C”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do <i>payback</i> .....	84
Figura 4.11 – Resultado para o perfil “D”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do <i>payback</i> .....	85
Figura 4.12 – Resultado da porcentagem de aceitabilidade das alternativas de investimento consideradas pelo estudo de caso.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparativo do gás natural com outros combustíveis .....	14
Tabela 2.2 – Comparativo do custo mensal de gás natural <i>versus</i> botijão de 13kg para cocção em residências .....	16
Tabela 2.3 – Usos do gás natural no setor comercial .....	19
Tabela 2.4 – Atividade diária de uma termelétrica .....	21
Tabela 3.1 – Simbologia para a representação dos diagramas de estoque e fluxo .....	35
Tabela 3.2 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização do chuveiro elétrico .....	43
Tabela 3.3 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização da torneira elétrica .....	45
Tabela 3.4 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de energia elétrica .....	47
Tabela 3.5 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de gás natural, em m <sup>3</sup> /mo, na utilização do aquecedor de água para banho .....	54
Tabela 3.6 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de gás natural, em m <sup>3</sup> /mo, na utilização do aquecedor de água para torneira .....	56
Tabela 3.7 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de gás natural .....	58
Tabela 3.8 – Variáveis do DEF responsáveis pela análise econômico-financeira na utilização do gás natural em prédios residenciais .....	61
Tabela 3.9 – Variáveis responsáveis pela influência do custo no consumo de energia elétrica e de gás natural .....	62
Tabela 3.10 – Variáveis responsáveis pela comparação da despesa mensal de gás natural quando adotada a medição individual ou centralizada .....	64
Tabela 4.1 – Parâmetros iniciais fixados para o caso base .....	71
Tabela 4.2 – Resultados obtidos a partir dos métodos de análise econômico-financeira para o cenário de referência .....	74
Tabela 4.3 – Cenários para análise de comportamento .....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS

a.a	ao ano
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ALGÁS	Gás de Alagoas S/A
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ENGVA	Associação Européia de Gás Natural Veicular
atm	atmosfera (unidade de pressão)
BAHIAGÁS	Companhia de Gás da Bahia
BEN	Balanço Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BR DISTRIBUIDORA	Gerência de Comercialização de Gás Canalizado
CEG	Companhia Distribuidora de Gás do Rio de Janeiro
CEG RIO	CEG RIO S/A (antiga RIOGÁS)
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
COMGÁS	Companhia de Gás de São Paulo
COMPAGÁS	Companhia Paranaense de Gás
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CIDE	Contribuição de Intervenção sobre o Domínio Econômico
COPERGÁS	Companhia Pernambucana de Gás
DEF	Diagrama de Estoque e Fluxo
DLC	Diagrama de Laço Causal
DS	Dinâmica de Sistemas
EE	Energia Elétrica
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras SA
g	grama (unidade de medida de massa)
GASBOL	Gasoduto Bolívia-Brasil
GÁS BRASILIAN	Concessionária de Gás Canalizado Área Noroeste-SP
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GN	Gás Natural
GÁS NATURAL SPS	GasNatural São Paulo Sul S.A.
GNV	Gás Natural Veicular

GW	Gigawatt
h	hora (unidade de tempo)
HC	Hidrocarbonetos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor
km	quilômetro (unidade de medida)
kW	kilowatt
l	litros (unidade de medida de volume)
min	minuto (unidade de medida de tempo)
mo	mês
m <sup>2</sup>	metro quadrado (unidade de medida)
m <sup>3</sup>	metro cúbico (unidade de medida de volume)
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Mato Grosso do Sul
MSGÁS	Companhia de Gás do Estado de Mato Grosso do Sul
MW	Megawatt
NO <sub>x</sub>	Óxido de Nítrico
PB	<i>Payback</i>
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro SA
PPT	Programa Prioritário de Termoeletricidade
R\$	Real (moeda brasileira)
SULGÁS	Companhia de Gás do Estado do Rio Grande do Sul
ton	tonelada (unidade de medida de massa)
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
US\$	Dólar (moeda americana)
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watt (unidade para potência)

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 Generalidades

O mercado de energia brasileiro passa por um período de grande movimentação caracterizado pelo crescimento e introdução crescente da competitividade. A estratégia de governo para o setor estimulou mudanças significativas na matriz energética brasileira com as privatizações, aumento da participação do gás natural (GN) e a regulamentação do seu uso em termelétricas, além do incentivo às pesquisas de fontes não convencionais de energia (solar, eólica, resíduos agrícolas, óleos vegetais e pequenos potenciais hidráulicos).

Sendo assim, o gás natural está em plena fase de desenvolvimento, com crescimento das reservas no país, e com o andamento de importantes investimentos em infra-estrutura de transporte e distribuição. A utilização deste energético tornou-se um caminho essencial em um mercado global, mais competitivo, e onde a demanda por combustíveis menos poluentes nos diversos setores (industrial, comercial, residencial e veicular) aumenta expressivamente.

Somando-se a estes fatores, a crescente evolução tarifária de energia elétrica (EE), associada aos investimentos das companhias distribuidoras de gás natural em suas redes de distribuição, um mercado em potencial que se abre ao uso do gás natural é o residencial. Entretanto, sob a ótica do cliente, que se propõe a utilizar este energético, cria-se a necessidade de avaliar os impactos da sua competitividade e dos riscos aos quais estaria exposto.

Neste contexto, o presente trabalho enfoca, sob a ótica do cliente, o problema de decisão na utilização do gás natural em alternativa à energia elétrica, e propõe uma ferramenta de apoio ao processo de análise do problema em questão, utilizando a técnica de Dinâmica de Sistemas (DS).

## 1.2 Motivação

O desenvolvimento deste trabalho foi motivado pelos seguintes fatores:

- ausência de uma ferramenta que propicie à tomada de decisão dos novos consumidores prediais residenciais, na utilização do gás natural no aquecimento de água;

- a conseqüente competitividade do gás natural com a energia elétrica cria uma necessidade no conhecimento da dinâmica do processo e das influências por ela recebidas, visando mantê-la sempre em condição de competição;
- a crescente implantação de novos ramais de distribuição do gás natural aos diversos setores de consumo, através de projetos de âmbito nacional implantados pela PETROBRAS;
- propósito, por parte do governo federal, de elevar a participação do gás natural na oferta interna de energia primária, dos atuais 3,7% para cerca de 15% até 2010.

### **1.3 Objetivos do Trabalho**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral, auxiliar os novos consumidores que utilizarão o gás natural em instalações prediais residenciais para aquecimento de água, em alternativa à energia elétrica, com uma ferramenta de simulação que visa, principalmente, a análise dos aspectos relacionados com seu equilíbrio econômico e financeiro, permitindo assim, analisar situações para apoiar a tomada de decisão.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Para atender aos seus objetivos, este trabalho apresenta uma ferramenta de simulação dinâmica, baseada na técnica de Dinâmica de Sistemas, adequada aos setores de energia elétrica e de gás natural, com o estabelecimento dos seguintes objetivos específicos:

- permitir aos novos clientes avaliar qualitativa e quantitativamente o uso do gás natural como energético primário;
- estabelecer os parâmetros de relações de causa e efeito entre os principais elementos integrantes do sistema;
- construir um modelo de simulação que permita avaliar o comportamento do sistema representado;
- realizar análises com o objetivo de verificar a sensibilidade dos cenários do setor elétrico e de gás natural com respeito a variações no preço e, como podem interferir no ambiente para a tomada de decisão.

## **1.4 Organização do Trabalho**

O trabalho está estruturado como indicado a seguir:

No Capítulo 2 é apresentada uma visão geral a respeito do gás natural, inicialmente com um breve histórico do setor, enfatizando todos os marcos importantes que ocorreram ao longo das últimas décadas. Por conseguinte, as principais características deste energético, vantagens e aplicações nos diversos setores.

O Capítulo 3 traz a descrição da modelagem econômico-financeira proposta através da técnica de Dinâmica de Sistemas, delineando como o problema está estruturado e como será implementado. Além disso, é detalhada a modelagem matemática, que deu origem a construção dos três módulos do modelo de análise econômico-financeira da utilização do gás natural em instalações prediais residenciais.

No Capítulo 4 é feito um estudo de caso baseado na metodologia proposta, com o objetivo de avaliar os cenários, permitindo a tomada de decisão do investimento para o uso do gás natural em alternativa à energia elétrica.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões e considerações, juntamente com as propostas de futuros trabalhos.

## **1.5 Revisão Bibliográfica**

O setor elétrico brasileiro pode ser descrito por um conjunto de atividades constituídas sob forma de uma rede, na qual a interconexão é essencial à sua operação e prestação do serviço, como ilustrado na Figura 1.1 [1].

Na estrutura descrita, existem diversas atividades, como: custos de produção, despacho/geração, capacidade de geração, regulação, demanda do setor, curva de carga, entre outras, no qual influenciam e sofrem influências de diversas outras atividades, permitindo, a partir deste detalhamento, simular o funcionamento do setor como um todo.



elétrico brasileiro, nos diversos setores (industrial, comercial e residencial), causando grandes impactos aos consumidores.

Considerando-se o período compreendido entre 1995 e 2001, o aumento acumulado da tarifa de EE no setor industrial foi de, aproximadamente, 77,49%, e nos setores comercial e residencial de 73,61% e 129,85% [3], respectivamente, conforme ilustrado pelo gráfico da Figura 1.2 [3]. De acordo com o Índice de Preços ao Consumidor (IPCA) do IBGE, a variação foi muito maior do que a inflação apresentada no mesmo período, de 72,75%.

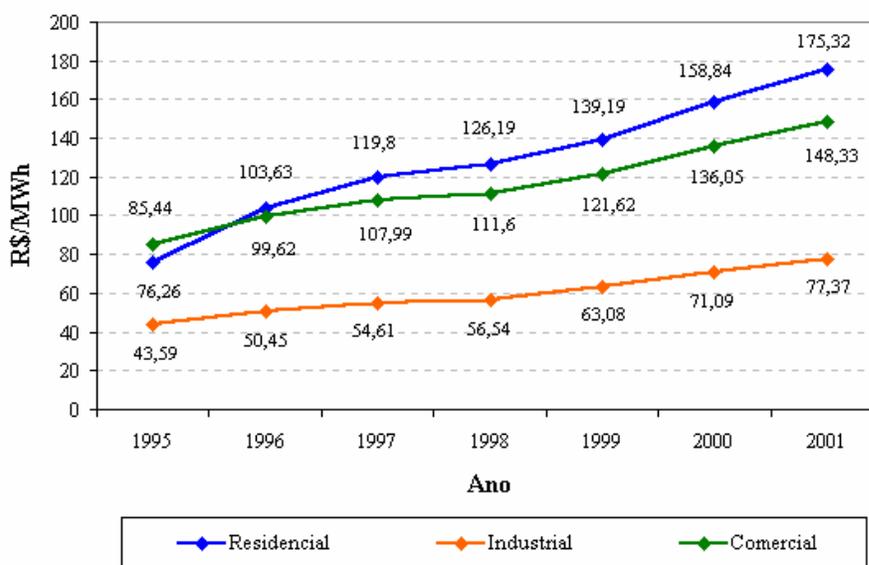


Figura 1.2 – Tarifas médias por classe de consumo no Brasil [3]

A própria evolução do preço da energia, tende a incentivar o uso de outro combustível, no caso o GN, devido a crescente participação que vem exercendo na matriz energética brasileira e ao interesse do governo federal em elevar os níveis da oferta de energia primária de 3,7% para, aproximadamente, 15% até o final de 2010 [4].

Penteado [5] ressalta que o Brasil nunca esteve em um período tão adequado para investir no aumento do consumo do GN, devido as novas reservas descobertas (Bacia de Santos, com um volume de, aproximadamente, 419 bilhões de m<sup>3</sup>).

No entanto, torna-se necessário uma política mais forte de incentivo ao aumento do consumo deste energético (necessário para uma mudança na cultura do cliente), permitindo a

instituição de um mercado consolidado, não só para atender à demanda diante de uma eventual redução da oferta de energia, mas no deslocamento de usos da eletricidade.

Flavin [6], pesquisador responsável pelos estudos de energia do *Worldwatch Institute*, afirma que até a metade do século XXI, o GN irá se transformar na fonte número um de energia. Depois disso, fontes renováveis, como a energia solar e a eólica, começarão a predominar.

Monteiro [7] ressalta a importância de estimular investimentos no segmento residencial do GN, um dos mercados de maior expansão, com o uso das novas tecnologias da automação e da informação. Ademais, o aumento do mercado residencial de gás natural, agrega valor sob a ótica do setor elétrico, pois em substituição ao uso da eletricidade para aquecimento ou resfriamento com a utilização direta do combustível, contribuiria na redução da demanda de energia elétrica, principalmente nos períodos de pico.

Até 2016, a PETROBRÁS projetou uma expansão de 40% no mercado residencial de energia, o que representa um crescimento no número de domicílios dos atuais 56,7 milhões para 78,4 milhões [8].

Segundo Paro [9], as principais conseqüências imediatas previstas para o cliente com a expansão do mercado de gás natural residencial, tem-se o aumento do investimento por parte da concessionária de gás, para expansão da malha de distribuição e, fomento à pesquisa tecnológica para melhoria dos produtos existentes no mercado de aquecedores de passagem.

Melo [10] apresenta uma análise sobre o uso do chuveiro elétrico e a probabilidade de impacto na demanda de energia no horário de ponta. Neste trabalho, o autor faz uma comparação das alternativas para o uso do gás canalizado, tanto em centrais termelétricas quanto para o aquecimento de água em residências.

Ainda, quanto à competitividade que o uso do GN pode trazer, Correa [11] afirma que além de outras vantagens agregadas, como a minimização de custos e melhoria da produtividade, os gastos com a implementação do projeto de substituição de energia são compensadores, sendo viável a aplicabilidade do GN.

Conforme se pode observar, o problema de decisão na utilização do gás natural em alternativa à energia elétrica leva o cliente a uma avaliação onde fatores tecnológicos, operacionais, econômicos e financeiros devam ser considerados de forma conjunta e iterativa. Neste contexto, o uso da técnica de Dinâmica de Sistemas se mostra adequado para avaliação e modelagem deste problema, permitindo, conforme descrito por Forrester [12], estruturar e

analisar o comportamento do sistema, sendo este resultado de contribuições cruzadas de idéias a partir de gerência tradicional, cibernética, e simulação computacional.

Através da técnica de DS, adquire-se um alto grau de conhecimento dos elementos que compõem o sistema estudado. Este conhecimento, somado a capacidade de análise proporcionada pelo modelo de simulação construído, certamente contribuem favoravelmente para a tomada de decisão, propiciando uma maior probabilidade de se obter escolhas eficazes, orientando atitudes convergentes para o futuro desejado [13].

A construção de um modelo de simulação é um processo interativo de erros e acertos. Segundo Ford [14], o modelo é usualmente construído em etapas com grau crescente de complexidade, até que ele seja capaz de reproduzir o comportamento esperado do sistema que representa.

Ademais, para a análise do comportamento dinâmico das variáveis de um determinado sistema, Batista [15] ressalta que na área de engenharia de projetos, é necessária uma ferramenta que auxilie no gerenciamento das informações. A partir da técnica de Dinâmica de Sistemas, gestores poderão analisar as principais variáveis de um processo sob diversos parâmetros e critérios.

## CAPÍTULO 2 – O GÁS NATURAL

### 2.1 Introdução

A utilização do gás natural (GN) é crescente ao longo dos últimos anos, tendo em vista as orientações do governo federal e as ações da PETROBRAS, em alterar a matriz energética brasileira. No período compreendido entre 1992 e 2003, o consumo final de GN passou de 2,5% para 6% [16], permitindo ao país desfrutar de alguns benefícios deste energético, como: preços competitivos, baixo impacto ambiental, entre outros.

Este capítulo tem como objetivo fornecer uma visão do gás natural nos aspectos de: caracterização; histórico do setor, enfatizando todos os marcos importantes que ocorreram ao longo das últimas décadas; vantagens de sua utilização; e aplicações nos diversos setores de consumo.

### 2.2 Histórico do Mercado de Gás Natural

Registros antigos mostram que a descoberta do GN ocorreu no Irã entre 6000 e 2000 AC e que, na Pérsia, utilizavam o combustível para manter aceso o "fogo eterno", símbolo de adoração de uma das seitas locais. O GN já era conhecido na China desde 900 AC, mas foi em 211 AC que o país começou a extrair a matéria-prima com o objetivo de secar pedras de sal. Utilizavam varas de bambu para retirar o gás natural de poços com profundidade aproximada de 1000 metros [17].

Na Europa, o gás natural só foi descoberto em 1659, não despertando interesse por causa da grande aceitação do gás resultante do carvão carbonizado, o *town gas*, que foi o primeiro combustível responsável pela iluminação de casas e ruas desde 1790 [17]. Já nos Estados Unidos, o primeiro gasoduto com fins comerciais entrou em operação na cidade de Fredonia, no estado de *New York*, em 1821, fornecendo energia aos consumidores para iluminação e preparação de alimentos.

O GN passou a ser utilizado em maior escala na Europa no final do século XIX, devido à invenção do queimador Bunsen (que misturava ar com gás natural) em 1885 por Robert Bunsen, e também a criação de um gasoduto à prova de vazamentos, em 1890. Mesmo assim, as técnicas de construção eram modestas e os gasodutos tinham no máximo 160 km de extensão, impedindo o transporte de grandes volumes a longas distâncias, e,

conseqüentemente, reduzindo a participação do GN no desenvolvimento industrial, marcado pela presença do óleo e do carvão [17].

No final de 1930, os avanços na tecnologia de construção de gasodutos viabilizaram o transporte do GN para longos percursos. O mercado industrial do gás era relativamente pequeno até a Segunda Guerra Mundial, quando então tornou-se extremamente disponível. Entre 1927 e 1931, já existiam mais de 10 linhas de transmissão de grande porte nos Estados Unidos, mas sem alcance interestadual [17]. As descobertas de vastas reservas também contribuíram para reduzir o preço do GN, que o tornou uma opção mais atraente que o *town gas*.

O *boom* de construções pós-guerra durou até o ano de 1960, e foi responsável pela instalação de milhares de quilômetros de dutos, proporcionado pelos avanços em metalurgia, técnicas de soldagem e construção de tubos. Desde então, grandes centrais elétricas alimentadas por GN começaram a ser construídas para operação na base, visando principalmente adaptar o setor elétrico a regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas e que impõem sérias restrições ao uso do óleo combustível, do diesel e do carvão [17].

No Brasil, a utilização do GN iniciou-se por volta de 1940, com as descobertas de óleo e gás no estado da Bahia. Após alguns anos, as bacias do Recôncavo, Sergipe e Alagoas eram destinadas, quase em sua totalidade, para a fabricação de insumos industriais e combustíveis para a refinaria Landolfo Alves e o Pólo Petroquímico de Camaçari [18].

Desde a implantação efetiva da base energética nacional, a partir da década de 70, a termelétricidade foi inserida de forma secundária, devido aos recursos naturais abundantes e aos custos inferiores, a opção hidrelétrica sempre foi preponderante. Além de necessitar de equipamentos mais sofisticados e de aquisição mais onerosa, as termelétricas utilizavam basicamente como combustível o carvão, o óleo diesel e o gás natural.

No entanto, o carvão e o gás eram pouco explorados no território nacional, além de apresentarem pequena quantidade de jazidas conhecidas. Já o óleo diesel, era influenciado pelo preço instável do petróleo no mercado internacional, representando elevados riscos financeiros aos países dependentes.

O grande marco do GN ocorreu com a exploração da Bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro, na década de 80. O desenvolvimento da bacia proporcionou um aumento no uso da matéria-prima, elevando em 2,7% a participação do gás na matriz energética nacional [19].

No Brasil, com o início da reestruturação do setor elétrico, em meados da década de 90, e a conseqüente crise de energia elétrica, diversos esforços estão sendo feitos como a promulgação da Lei 9.478/97 onde, entre outras determinações, redefiniu a política energética nacional e instituiu o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Em fevereiro de 2000, o governo brasileiro lançou o Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT), um projeto com fonte de recursos na Contribuição de Intervenção sobre o Domínio Econômico (CIDE) - taxa cobrada sobre o consumo de combustíveis, para a construção de 49 termelétricas (42 utilizariam o gás natural como combustível) capaz de gerar 17 GW até 2004 [20]. No entanto, apenas 6.780 kW de um total de 17 GW estariam aptos a entrar no sistema elétrico nacional até o final de 2004, data em que o PPT original deveria estar em plena operação [21].

As termelétricas passaram a ser analisadas como âncoras potenciais para estabelecer uma demanda por GN no país, sem necessitar de grandes investimentos em infra-estrutura. Esta perspectiva foi amplamente apoiada pelo capital privado, pois para os investidores, as hidrelétricas exigiam a mobilização de grandes recursos, com um retorno mais lento de capital. Eles preferiam as térmicas por possuir tanto uma maior experiência na gestão destes empreendimentos, quanto pelo menor investimento inicial associado a um menor tempo de retorno.

Assim, projeta-se para o gás natural um importante papel no atendimento da crescente demanda de energia primária, justificando a política adotada pelo governo federal que tem o firme propósito de elevar a participação do combustível na oferta interna de energia primária de 3,7%, para cerca de 15% até o final desta década [4].

De acordo com Souza Jr. [22], um dos motivos para a expansão do uso do GN foi a construção do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), com capacidade de transportar até 30 milhões de m<sup>3</sup> diariamente, que estimulou, por sua vez, o crescimento da rede de distribuição nas regiões sul, sudeste e centro-oeste.

Ademais, as recentes descobertas de gás nacional, como a da Bacia de Santos, permitem um forte crescimento da oferta em linha com o potencial de crescimento do mercado, abrindo novas perspectivas para o setor energético nacional. A fase de avaliação das reservas da Bacia de Santos deve se estender até 2006, no entanto, o volume descoberto é estimado em 419 bilhões de m<sup>3</sup>, ou seja, de 236 bilhões de m<sup>3</sup> em 2002, para 657 bilhões de

m<sup>3</sup> em 2004. Com isso, tem-se a possibilidade de produzir até 100 milhões de m<sup>3</sup> por dia a médio prazo [23].

Segundo o recente planejamento da PETROBRAS, para o período de 2006-2010, os investimentos da empresa na área de GN para o período passarão dos atuais US\$ 2,6 bilhões, previsto no Plano Estratégico da Companhia, para US\$ 6,5 bilhões [23], um crescimento de 150%, visando a consolidação da infra-estrutura para o desenvolvimento do mercado de GN.

Dentro deste contexto, em um cenário de crescente participação do gás no mercado brasileiro, surge uma proposta do governo federal para uma Lei do Gás, assim como ocorreu no setor elétrico. Segundo Silas Rondeau, ministro de Minas e Energia, as principais diretrizes da lei são a concessão para a construção de gasodutos e a criação de um órgão destinado a supervisionar a movimentação do GN [24].

Os agentes do setor de gás concordam quanto à necessidade de uma legislação à parte para o setor, que atualmente é regulado pela Lei do Petróleo. Por sua vez, nem todos concordam quanto à forma. Em alguns pontos da Lei do Gás, há a preocupação de que a proposta altere a autonomia dos estados sobre a distribuição do combustível, entre outras polêmicas.

A discussão do projeto governamental ficou, praticamente, para este ano de 2006, devido à existência de propostas concorrentes na Câmara e no Senado. Contudo, o ministro garante que a lei será promulgada ainda no governo atual.

Sendo assim, é importante salientar que com a aprovação da lei para o setor de gás, o país poderá atrair mais recursos. De outra forma, esta situação continuará a impedir que o Brasil usufrua os benefícios ambientais e econômicos decorrentes do consumo deste energético, que representa apenas 8% da matriz energética nacional, enquanto a média mundial é de 24% [25].

### **2.3 Principais Características**

O gás natural pode ser encontrado em rochas porosas no subsolo, podendo estar associado ou não ao petróleo. O associado é aquele que é extraído de um reservatório produtor de óleo, no qual o gás está ou não em solução. O não associado é extraído de um reservatório produtor de gás, ou seja, está livre ou em presença de quantidades muito pequenas de óleo [26].

De origem fóssil, sua formação resulta da decomposição de matérias orgânicas soterradas em grandes profundidades, do tempo pré-histórico, devido ao processo de acomodação da crosta terrestre [26].

A composição do GN pode variar dependendo do fato do gás estar associado ou não ao óleo, ou de ter sido ou não processado em unidades industriais. Basicamente é composto por gases inorgânicos e hidrocarbonetos saturados, predominando o metano – CH<sub>4</sub> (aproximadamente 90%) e, em menores quantidades o propano e o butano [26]. Existe, ainda, a presença de contaminantes como nitrogênio, dióxido de carbono, gás sulfídrico e demais compostos de enxofre, que são retirados no condicionamento do gás, antes de ser distribuído.

O gás natural permanece no estado gasoso sob pressão atmosférica e temperatura ambiente. Mais leve que o ar, dissipa-se facilmente na atmosfera em caso de vazamento. Para que se inflame, é preciso que seja submetido a uma temperatura superior a 620°C, enquanto que, o álcool se inflama a 200°C e a gasolina a 300°C. Além disso, é incolor e inodoro, queimando com uma chama quase imperceptível. Conseqüentemente, por questões de segurança, o GN comercializado é odorizado com enxofre [26].

Trata-se de um combustível que propicia uma queima limpa, com ausência de particulados (cinza produto da combustão). Seu emprego é imprescindível na indústria de produtos especiais, agregando qualidade ao produto final devido a sua maior eficiência de combustão, como no caso das porcelanas [27].

O gás natural é uma alternativa ao petróleo e, conseqüentemente, de grande importância estratégica. Ressalta-se ainda ser um combustível fóssil limpo e seguro, com um custo de produção baixo, sendo apontado atualmente, como um dos energéticos de maior perspectiva de incremento, a ponto de ser designado freqüentemente como "o combustível do século XXI" [28].

## **2.4 Vantagens na Utilização**

Nos grandes centros, o GN diminui consideravelmente a emissão de compostos de enxofre e particulados, sem gerar cinzas ou detritos poluentes, oriundos da utilização de outros combustíveis, seja no uso industrial ou no automotivo.

Bermann [29] denota que em substituição aos demais combustíveis fósseis, o GN apresenta uma menor contribuição de emissões de gás carbônico (aproximadamente 32% menos que o óleo combustível, e 41% menos que os combustíveis sólidos como o carvão).

Porém, ao ser comparado com fontes renováveis como a energia nuclear e a energia hidroelétrica, o GN perde em termos de emissões de gases que conduzem ao “efeito estufa”, no entanto, apresenta vantagens significativas no sentido de não gerar resíduos radioativos de alta periculosidade (no caso da energia nuclear) e não apresentar grandes impactos à natureza (no caso das hidroelétricas).

O gás natural, segundo Hess [30], contém uma série de impurezas que têm efeitos adversos sobre a saúde. Em alguns depósitos de GN compostos organometálicos tóxicos contendo mercúrio, arsênio, chumbo e até mesmo o radônio (que causa câncer pulmonar) estão presentes. Sabe-se que estas substâncias são altamente tóxicas e bioacumulativas.

Entretanto, com relação à facilidade de operação, o gás natural compara-se à energia elétrica (EE), pois pode aproximar-se do usuário final, evitando etapas intermediárias de transformação energética. Essa transposição de estágios normalmente representa grandes ganhos em termos de eficiência e racionalidade [31].

Quando comparado com a gasolina ou o querosene, o GN é menos inflamável, apresentando riscos de explosão bem menores em caso de choque no processo de transporte e manipulação, contribuindo para a formação de uma imagem de energia mais confiável e segura.

Além disso, o GN apresenta algumas vantagens operacionais e econômicas quando comparado ao óleo combustível e ao gás liquefeito de petróleo (GLP), apresentadas na Tabela 2.1 [32].

Tabela 2.1 – Comparativo do gás natural com outros combustíveis [32]

<b>Vantagens</b>	<b>GN versus Óleo Combustível</b>	<b>GN versus GLP</b>
<b>Operacionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduz tempo e número de paradas para manutenção;</li> <li>▪ Aumenta vida útil dos equipamentos;</li> <li>▪ Reduz entrada e saída de caminhões da fábrica;</li> <li>▪ Combustão completa;</li> <li>▪ Não deposita contaminantes nas superfícies de troca de calor e no produto;</li> <li>▪ Permite controle e ajuste fino de vazão e temperatura;</li> <li>▪ Dispensa aquecimento para queima;</li> <li>▪ Permite queima direta;</li> <li>▪ Elevado rendimento térmico (a operação se faz com excesso mínimo de ar);</li> <li>▪ Não desregula ou entope maçaricos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Composição química constante;</li> <li>▪ Isento de compostos pesados;</li> <li>▪ Atende às variações abruptas de vazão e dispensa aquecimento;</li> <li>▪ Não acumula no ambiente, pois é mais leve que o ar e tende a dispersar-se rapidamente (composto de metano e etano). O GLP é composto por propano e butano sendo mais pesado que o ar. Desta forma, em situações de vazamento, o GLP tende a se acumular nos arredores dos locais de escape, podendo gerar explosões na presença de faíscas;</li> <li>▪ Maior segurança operacional.</li> </ul>
<b>Econômicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elimina custo de estocagem;</li> <li>▪ Não exige gasto de energia com aquecimento para queima;</li> <li>▪ Reduz custos de manutenção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Possibilita usar rede existente;</li> <li>▪ Permite o uso da área destinada à estocagem de combustíveis no local de consumo.</li> </ul>

Observa-se que, além das vantagens operacionais e econômicas apresentadas, o GN também apresenta vantagens macroeconômicas, ambientais e de segurança [32], citadas a seguir.

**a) Vantagens Macroeconômicas:**

- A diversificação da matriz energética;
- Melhoria do rendimento energético;
- Geração de energia elétrica junto aos centros de consumo.

**b) Vantagens Ambientais e de Segurança:**

- Reduz a emissão de particulados;
- Dispensa a manipulação de produtos químicos perigosos;

- Baixa presença de contaminantes;
- Pequena exigência de tratamento dos gases de combustão;
- Rápida dispersão de vazamentos;
- Diminui a poluição urbana, no caso do emprego em veículos automotivos.

Além das diversas vantagens em sua utilização, o GN apresenta grande potencialidade no uso como combustível para a geração de energia, permitindo a utilização nos diferentes setores de consumo, atendendo as determinações ambientais e contribuindo de forma eficaz e eficiente no controle dos processos, segurança e qualidade.

## **2.5 Aplicações**

O gás natural é a terceira maior fonte de energia primária no mundo, somente superado pelo petróleo e pelo carvão [33]. A sua amplitude de usos o faz um competidor potencial de quase todos os demais combustíveis alternativos. Suas principais utilizações tem sido como combustível industrial, comercial, residencial, e na recuperação secundária de petróleo em campos petrolíferos, através de sua reinjeção.

Também pode ser utilizado como matéria-prima nas indústrias petroquímicas (plásticos, tintas, fibras sintéticas e borracha), de fertilizantes (uréia, amônia e seus derivados), e para redução do minério de ferro na indústria siderúrgica [31].

Nos segmentos de transporte coletivo e de cargas, a utilização do GN assume importância na redução de agentes poluentes. Também pode ser utilizado como combustível na geração de eletricidade, seja em usinas termelétricas, seja em unidades industriais, instalações comerciais e de serviços, em regime de cogeração (produção combinada de vapor e eletricidade).

O uso do GN nas residências seja para cocção (nos fogões), ou para calefação, além da segurança e praticidade, tem a vantagem de substituir o gás liquefeito de petróleo (GLP). Porém, o GN não era atrativo apenas para uso na cocção, justificando a sua baixa substituição pelo GLP, como pode ser visto na Tabela 2.2 [34].

Tabela 2.2 – Comparativo do custo mensal de gás natural *versus* botijão de 13kg para cocção em residências [34]

<b>Tipo de Gás</b>	<b>Número de moradores na residência</b>	<b>Consumo mensal</b>	<b>Unidade (kg ou m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo mensal (R\$)</b>
Natural	2	4,97	m <sup>3</sup>	9,65
GLP	2	4,33	kg	8,83
Natural	4	14,94	m <sup>3</sup>	28,76
GLP	4	13,00	kg	26,50

Base de preço (abril de 2002): R\$ 26,50 para o botijão de gás e R\$ 1,92, em média, para o m<sup>3</sup> de GN.

No entanto, com o fim do subsídio ao GLP, em janeiro de 2002, e o incentivo por parte do governo federal ao uso do gás natural, se a Tabela 2.2 for atualizada (base de preço para fevereiro de 2006: R\$ 33,00 para o botijão de gás; e para o GN residencial, valores segundo Anexo II), haverá uma vantagem significativa na redução das despesas com o uso do GN em alternativa ao GLP de, aproximadamente, 25%.

### 2.5.1 O Gás Natural no Setor Industrial

No setor industrial, o gás natural pode ser utilizado em vários ramos de atividades, como: setores de alimentos e bebidas, têxtil, cimento, cerâmica, vidro, papel e celulose, fundição e siderurgia, sendo utilizado, principalmente, na geração de vapor para posterior processamento, aliado a sistemas de geração elétrica e cogeração.

De acordo com Santos [31], o papel de maior importância a ser reservado ao GN é o de substituir a energia elétrica usada na eletrotermia, isto é, no aquecimento industrial de processos ou na geração de vapor através da eletricidade.

No Brasil, esta prática representa um ônus severo para o setor elétrico, pois segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2004 [16], a indústria é responsável por, aproximadamente, 46% do consumo de energia elétrica, seguido do uso residencial (22,6%). A evolução do consumo dos demais setores é mostrada pela Figura 2.1 [16].

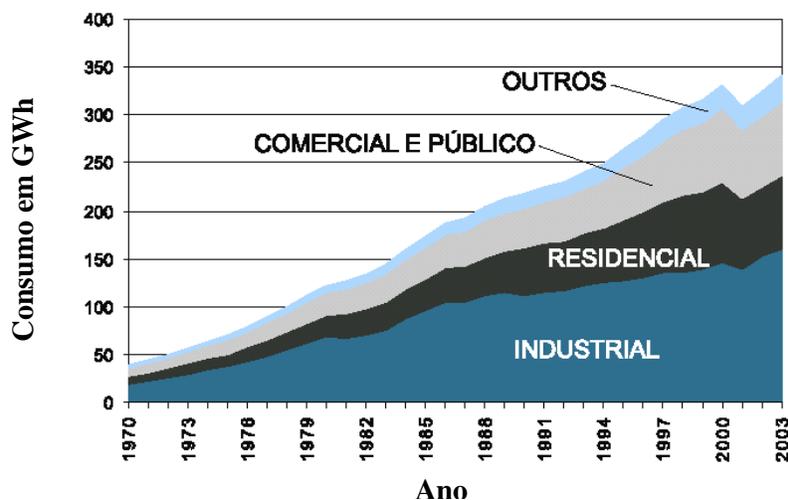


Figura 2.1 – Evolução do consumo setorial de energia no Brasil [16]

Além do preço do GN, quando comparado com o preço de outros combustíveis, ser um dos fatores determinantes para sua escolha, outro aspecto favorável para a penetração do energético no setor, especificamente industrial, é a sua característica de gerar a menor taxa de emissão de CO<sub>2</sub> dentre os combustíveis fósseis, contribuindo para a redução do efeito estufa [31].

Segundo o Instituto de Energia de São Paulo, a cidade de Cubatão só está conseguindo se tornar habitável, porque 90% das indústrias instaladas na região estão utilizando o GN como combustível, abandonando o uso de óleos pesados de refinaria [35].

Esta oportunidade vem se tornando cada vez mais real, pois com a intensificação das pressões ambientais, em 1997 foi elaborado o Protocolo de Kyoto, um tratado internacional ratificado por centenas de países, inclusive o Brasil, visando à minimização das emissões dos gases causadores do efeito estufa, fenômeno este que vem sendo apontado como causa primordial do aquecimento global e das mudanças climáticas observadas nos últimos anos.

Este importante protocolo entrou em vigor a partir de fevereiro de 2005, no qual os países membros comprometeram-se a reduzir suas emissões em pelo menos 5,2%, quando comparado aos índices de 1990. Esta redução será feita em cotas diferenciadas de até 8%, entre 2008 e 2012 [36].

### 2.5.2 O Gás Natural no Setor Veicular

O gás natural veicular (GNV), também chamado de gás metano veicular, é um gás natural comprimido a uma pressão de aproximadamente 220 atm, sendo armazenado em cilindros, os quais são acoplados aos veículos [37]. Ao longo dos últimos anos, o GNV tem avançado rapidamente no segmento de transportes, especialmente nas zonas metropolitanas.

A grande vantagem do GNV é a quase ausência das emissões de fuligem (material particulado) e de compostos de enxofre, reduzidas em cerca de 90% quando comparadas aos motores a diesel, álcool ou gasolina [31].

Com relação às emissões de CO<sub>2</sub>, o gás natural também apresenta resultados satisfatórios. Segundo estudos da Associação Europeia de Gás Natural Veicular (ENGVA), é possível obter uma redução de até 28% nas emissões de CO<sub>2</sub>, passando de 200g de CO<sub>2</sub>/km da gasolina/diesel para 145g de CO<sub>2</sub>/km com o uso do gás [38].

Em diversos países, como Argentina, Austrália, Itália, Canadá e demais países da Comunidade Europeia, o GNV tem sido objeto de estudos em diversas montadoras, principalmente europeias, devido as características de sua queima serem pouco agressivas ao meio ambiente [39].

Além disso, a utilização do GNV permite uma significativa redução de custos, no entanto, os ganhos dependerão das diferenças relativas dos preços dos combustíveis em cada mercado. Os custos com o veículo podem ser reduzidos em até 60%, além de aumentar a quilometragem de troca de óleo em cerca de 10 a 20 mil quilômetros [40].

Em termos de segurança, o abastecimento do GNV é feito sem que o produto tenha contato com o ar, evitando os riscos de combustão. Os cilindros são dimensionados para suportar elevadas pressões, bem como colisões, incêndios e perfurações, quando instalados de acordo com as normas internacionais.

Contudo, a utilização em larga escala do GNV no país, só será possível através de ganhos de escala, com volumes de vendas maiores, que permitam uma maior diluição dos custos fixos. Santos [31] ressalta que no mundo inteiro circulam cerca de 500 milhões de veículos e somente 0,24% desta frota são movidos a gás natural, denotando um mercado em expansão.

### 2.5.3 O Gás Natural no Setor Comercial

Além da utilização no setor industrial, o GN tem clientes potenciais em diversos setores do comércio, como: padarias, restaurantes, hotéis, *shoppings*, hospitais, clínicas, lavanderias, entre outros.

Estes estabelecimentos comerciais podem utilizar o gás para várias aplicações, inclusive em equipamentos como aquecedores de água, caldeiras, fornos/fogões, secadoras, ar-condicionado e refrigeradores com motores a gás. A Tabela 2.3 mostra, para os diversos equipamentos citados, os principais combustíveis que são normalmente substituídos pelo GN [31].

Tabela 2.3 – Usos do gás natural no setor comercial [31]

<b>Equipamento</b>	<b>Mercado</b>	<b>Combustível Substituído</b>
Fornos	Panificações	Lenha, eletricidade e GLP
Secadoras de roupas	Lavanderias	Eletricidade e GLP
Geradores de água quente	Condomínios, clubes e hospitais	Eletricidade, GLP e diesel
Equipamentos para cocção	Restaurantes e hotéis	Eletricidade e GLP
Caldeiras	Clínicas, hotéis e lavanderias	Eletricidade, diesel e óleo combustível

Ademais, o GN quando utilizado em fornos de padarias e restaurantes apresenta uma combustão completa e limpa, uma vez que não produz fumaça. As instalações para o uso do combustível são mais simples e mais baratas quando comparado com outras fontes de energia, tornando possível a adaptação com gastos reduzidos [41].

Deste modo, verifica-se que o GN pode substituir perfeitamente a eletricidade em diversos usos térmicos no setor comercial, com algumas vantagens [42]:

- fornecimento contínuo (sem necessidade de troca de botijões), no caso de haver rede de distribuição disponível;
- na falta de energia elétrica os equipamentos continuam funcionando;
- chama constante e uniforme;
- disponibilidade de água quente na quantidade e temperatura desejada;
- diminuição dos riscos de acidentes.

### 2.5.4 O Gás Natural na Geração de Eletricidade

O Brasil implementou e está implementando vários projetos de uso do GN na geração de energia elétrica, através das usinas termelétricas. Com isso, as empresas produtoras de combustíveis estão ampliando suas áreas de atuação, buscando uma fatia de mercado cada vez mais diversificada, começando a gerar energia elétrica também para fins comerciais, criando um novo conceito, o de “empresas de energia”.

A maioria das novas usinas termelétricas, devido ao ambiente competitivo que se delineou no setor elétrico, utiliza o GN como combustível, tornando-se grandes consumidoras do produto no país. Na Figura 2.2 [43], pode-se verificar a previsão da participação do gás natural na geração de energia, até 2020.

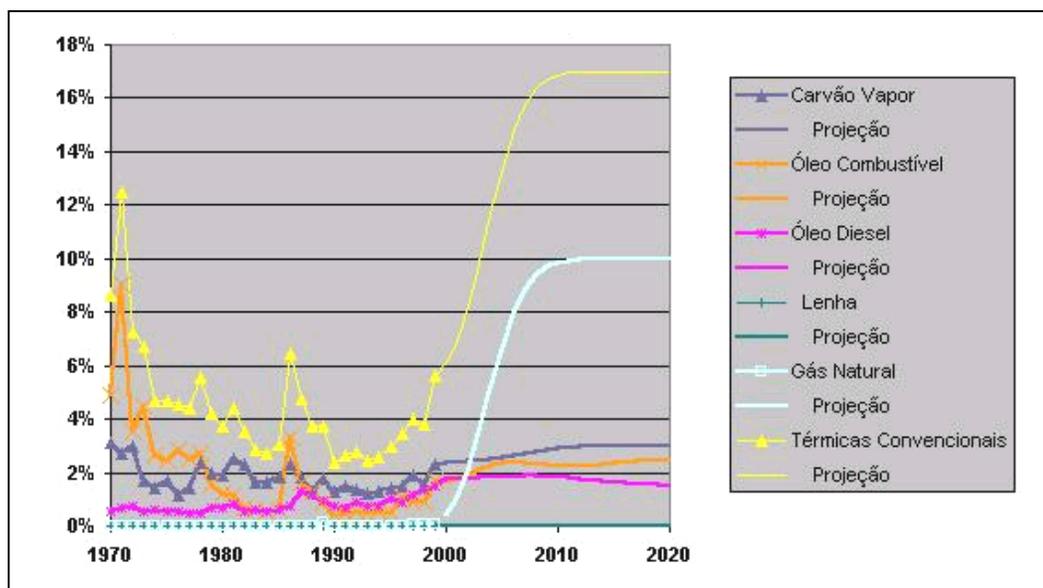


Figura 2.2 – Projeção da participação dos combustíveis na geração de energia elétrica [43]

As termelétricas estão localizadas perto dos mercados consumidores e das redes de transmissão, e apresentam duas grandes vantagens em relação às hidrelétricas: menor impacto ambiental, e taxa de retorno do investimento em curto espaço de tempo.

Ainda como vantagens ao uso do GN, a Tabela 2.4 ilustra as atividades físicas de uma planta de geração nova de 450MW, usando como combustível o carvão, o óleo e o gás natural [34].

Tabela 2.4 – Atividade diária de uma termelétrica [34]

Combustível	Tipo de planta	Eficiência energética	Consumo de combustível (ton)	Resíduos sólidos (ton)	Perda de calor (GWh)	SO <sub>2</sub> Emitido (ton)	NO <sub>x</sub> Emitido (ton)	CO <sub>2</sub> Emitido (ton)
Carvão	Convencional	38%	3.600	450	17	75	10 a 35	9.000
Óleo	Convencional	39%	2.250	1	17	170	7 a 15	7.500
Gás Natural	Convencional	40%	2.100	0	16	0	3 a 15	6.000

Embora as termelétricas movidas a GN apresentem níveis menores de poluentes, quando comparadas ao carvão e ao óleo, a quantidade de gases tóxicos emanados por elas, aumenta sensivelmente, envolvendo algumas questões ambientais [29] como:

- emissões de CO<sub>2</sub>, repercutindo no efeito estufa e apontado como principal causador da elevação de temperatura (55%);
- emissões de outros poluentes (como o NO<sub>x</sub> – óxido de nítrico e o HC – hidrocarbonetos) onde, dependendo da concentração, podem contribuir no aparecimento de algumas doenças como: processos alérgicos e inflamatórios, impotência, diabetes, hipertensão, câncer e problemas cardíacos.

### 2.5.5 O Gás Natural na Cogeração

A cogeração é a produção combinada de energia elétrica, através da produção de energia mecânica, e de energia térmica (produção de calor ou frio), a partir de uma única fonte de combustível, como mostrado na Figura 2.3.

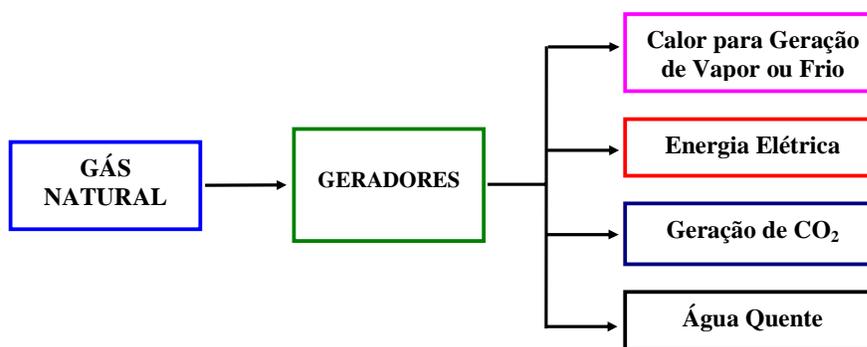


Figura 2.3 – Produtos do sistema de cogeração

Para tanto, podem ser utilizados todos os tipos de resíduos industriais, assim como outros combustíveis que, normalmente, já são utilizados pelos processos industriais das empresas, como o gás natural, o óleo combustível, o óleo diesel ou a biomassa [31].

A cogeração pode ser obtida através de ciclos de vapor simples, de ciclos com turbinas a gás ou de ciclos com motores térmicos. Através de ciclos de vapor simples a empresa que possui caldeira para a geração de vapor pode mantê-la funcionando, mesmo quando o vapor não estiver sendo utilizado, direcionando-o para turbinas apropriadas com o objetivo de gerar eletricidade, podendo ser utilizada pela própria empresa ou vendida para a companhia de energia [44].

Da mesma forma, a cogeração com turbinas a gás, operando em ciclo combinado, também podem ser utilizadas na cogeração. Neste caso, a energia térmica cogorada será obtida através de recuperadores de calor, geradores de vapor ou caldeiras. Já, através dos ciclos com motores térmicos acoplados a um gerador, a energia térmica cogorada será recuperada a partir da refrigeração do lubrificante do motor ou dos gases do escapamento, permitindo a produção de água quente e de vapor de baixa pressão [44].

Os ganhos em termos de eficiência, quando utilizado o sistema de cogeração, são significativos. É possível operar a planta com cerca de 80 a 85% de eficiência, ao se produzir vapor (ou água quente) e energia elétrica a partir do mesmo combustível. Sistemas com ciclo combinado operam com 50 a 55% de eficiência, enquanto que centrais elétricas convencionais operam com apenas 30 a 40% [31].

Esforços tecnológicos objetivam incrementar o uso da cogeração. Turbinas a gás de pequeno porte podem ser utilizadas por alguns consumidores industriais, comerciais e até em grandes residências ou condomínios. Motores a gás com capacidade inferior a 5 MW podem ser utilizados na geração de eletricidade, onde o calor pode ser utilizado no aquecimento de piscinas, lavanderias, aquecimento central e em sistemas de ar-condicionado [45].

As indústrias como as de papel e celulose, cerâmica, siderúrgicas, entre outras, são segmentos potenciais para a cogeração de grande porte. No entanto, com as novas tecnologias, *shoppings*, condomínios, hotéis e aeroportos, também podem utilizar a cogeração em menor escala.

A ampliação do mercado do sistema de cogeração é benéfico para o país, assim como para as outras aplicações do GN, tornando possível o desenvolvimento da indústria do gás e buscando eficiência e racionalidade para o sistema energético.

## 2.5.6 O Gás Natural no Setor Residencial

Devido aos investimentos das companhias distribuidoras de GN nas suas respectivas redes de distribuição, o segmento residencial começou a se tornar uma realidade em várias cidades do país, proporcionando diversas vantagens aos novos clientes, como [46]:

- ausência de estocagem, pois seu transporte e entrega ao usuário final são feitos através das redes de distribuição, que vão desde a fonte de produção até o consumidor, permitindo um fornecimento contínuo (sem necessidade de reabastecimentos) liberando assim, a área útil da edificação;
- maior segurança, pois em caso de vazamento (devido à menor densidade do GN em relação ao ar) dissipa-se rapidamente na atmosfera;
- principalmente, uma significativa economia quando substituto da EE.

Além do uso já tradicional em fogões, o GN também possui outras aplicações para o setor residencial, destacando-se, entre outras [46]:

- cozinha - água aquecida na torneira e utilização do GN em fogões, fornos e geladeiras;
- banheiro - fornecendo água quente (para o banho ou na torneira) de forma simultânea, podendo dispor de grandes volumes. A substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor de água a GN garante uma economia em média de até 30% [47];
- área de serviço - lavadoras de roupas, secadoras e tanques podem utilizar a água aquecida por um aquecedor ou caldeira a GN, economizando tempo e dinheiro;
- área de lazer - as churrasqueiras a GN oferecem a máxima limpeza, já que não produzem resíduos. A piscina e a sauna também podem ser aquecidas com o gás canalizado;
- climatização de ambientes - o uso do GN nas centrais de ar-condicionado (climatização) e de aquecimento tem apresentado grande vantagem econômica em relação aos equipamentos elétricos.

No Brasil, apesar das diversas aplicações, em algumas delas o mercado residencial tem se mostrado substancialmente menor, destacando-se a utilização do gás natural no aquecimento de água em substituição ao chuveiro elétrico. Isto se justifica, devido a participação do uso deste equipamento na curva de carga da residência ser significativa, algo em torno de 25% [31].

Com relação aos aquecedores a gás utilizados, eles são divididos comercialmente em duas classes: aquecedores de passagem ou instantâneos, e aquecedores de acumulação ou acumulativo. O aquecedor mais utilizado é o de passagem por apresentar características como: um menor custo de aquisição e pelo fato de serem equipamentos compactos, podendo ser instalados em espaços reduzidos. Além disso, só funciona quando há necessidade de água aquecida, garantindo maior economia. No mercado, este equipamento apresenta diversos modelos, desde 5 litros /min (atende 1 ponto de consumo) até 20 litros/min (atende até 3 pontos de consumo) [48].

Diferente do aquecedor de passagem, o de acumulação armazena água para momentos de necessidade em vários locais ao mesmo tempo, e para instalá-lo é necessário uma área maior, caracterizando sua principal desvantagem. Por manter a água sempre quente no depósito (*boiler*), o gasto é maior, pois o consumo de gás natural é constante. Comercialmente, seus reservatórios vão de 85 litros (atende até 2 pessoas ) até 190 litros (atende mais de 5 pessoas) [48].

Atualmente no país, são atendidos aproximadamente 720 mil clientes, nas doze distribuidoras que oferecem o gás natural residencial. São elas: ALGÁS, BAHIAGÁS, BR DISTRIBUIDORA, CEG e CEG RIO, COMGÁS, COMPAGÁS, COPERGÁS, GÁS BRASILIANO, GÁS NATURAL SPS, MSGÁS e SULGÁS. Todas possuem previsões de crescimento para este setor [49].

Como exemplo do aumento da participação no setor residencial brasileiro, pode-se citar Maceió, capital de Alagoas, que depois de Rio de Janeiro e São Paulo, foi a primeira capital a utilizar o gás natural residencial. Houve um expressivo crescimento, pois em janeiro de 2003 eram 19 prédios residenciais interligados, e em 2004, 115 condomínios e mais de três mil unidades residenciais atendidas com GN. É contabilizada uma economia de 50% nas despesas com energia, com a comodidade do gás canalizado, sem os incômodos do armazenamento e garantia de qualidade no atendimento [50].

Outro mercado em franca expansão é o de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul, onde estão sendo implantados (pela distribuidora MSGÁS) novos ramais de distribuição do GN, ampliando a estrutura com investimento estimado em aproximadamente R\$ 17 milhões [51].

Com isso, a MSGÁS espera gerar um incremento de vendas da ordem de 2.300.000 m<sup>3</sup>/mês [52]. A previsão de término da ampliação da malha de distribuição está prevista para meados de 2006, possibilitando a abertura de um grande mercado nos diversos setores, contribuindo de modo efetivo ao uso do GN principalmente em prédios residenciais, seguindo a tendência dos outros estados.

No caso de Campo Grande, uma grande construtora local de prédios residenciais, adotou o GN para o aquecimento de água, sendo esta característica bastante explorada no *marketing* de venda dos apartamentos, pois existe um aumento na qualidade (conforto) quando comparado com àqueles que utilizam a energia elétrica ou solar no aquecimento de água, agregando maior valor ao empreendimento, devido ao fato de se obter água quente com temperaturas superiores ao do chuveiro elétrico, e em maiores períodos de tempo quando comparado ao aquecimento pela energia solar.

Neste contexto, é importante ressaltar que a utilização do GN no aquecimento de água predial residencial não necessita de nenhum outro complemento energético, como ocorre com os aquecedores solares em algumas regiões do país, necessitando de uma fonte auxiliar de energia para suprir a demanda de água quente em dias de baixa radiação solar.

Este fato faz com que o custo de operação não se mantenha constante, ficando dependente das condições climáticas, eficiência e conseqüentemente da fração em que a fonte auxiliar será utilizada. Ademais, o aquecimento solar pelas tradicionais placas solares, pode comprometer o espaço físico disponível e a arquitetura dos prédios residenciais.

Segundo um estudo feito por Santos [31] na cidade de São Paulo, para um apartamento com dois moradores, com uma média de dois banhos por dia, ao se escolher o aquecedor solar (operando, hipoteticamente, 80% dos dias ao longo do ano) ao invés do chuveiro elétrico, o investimento será recuperado em 37 meses. Entretanto, se a escolha for pelo aquecedor a gás, o retorno será em, aproximadamente, 31 meses.

Desta forma, no setor residencial, a política mais sustentável para o Brasil seria promover a substituição da EE pelo GN nos diferentes processos térmicos de uma residência, podendo responder por uma parcela significativa da energia consumida, permitindo aumentar

substancialmente a racionalidade do sistema energético brasileiro, através de sua utilização extensiva.

## **2.6 Formação do Preço do Gás Natural no Mercado**

Uma das questões para a evolução de grandes projetos envolvendo a aplicação do GN, é o seu preço. Um exemplo de quanto isso é importante, é o valor do MWh gerado, que será definido a partir do preço do gás, juntamente com os custos de implantação da usina termelétrica, que será repassado às distribuidoras concessionárias.

O preço do gás natural, para o setor de termoeletricidade foi definido pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), sendo que para os demais usos, o preço varia devido a critérios nos contratos de concessão para prestação de serviços públicos de distribuição de gás canalizado, ou mesmo na regulação estadual [34], que estipulam as margens admissíveis para cada tipo de aplicação (industrial, residencial, automotivo, etc.).

Além dos fatores citados, há outros que também influenciam o preço do GN, como: os serviços de transporte e distribuição (influenciado pelo custo dessas atividades e com as taxas de retorno do investimento); inflação; taxas; impostos; câmbio (gás importado da Bolívia); e variação de preços de produtos de referência para o setor.

Logo, julga-se adequada à definição de uma política de preços que esteja de acordo com o atual estágio da indústria de GN no Brasil, permitindo o desenvolvimento da infraestrutura de transporte e distribuição e a multiplicação do número de participantes, tanto pelo lado da oferta quanto da demanda.

Contudo, o preço do GN, no caso do aumento da demanda, dependerá em grande parte da habilidade da indústria de gás em aumentar o suprimento enquanto assegura preços estáveis. A questão de seu suprimento, juntamente com o diferente histórico de cada grupo de distribuidoras, resulta em um fator relevante ao seu desenvolvimento. Essas características vão interagir diretamente com a regulação econômica aplicada em cada distribuidora.

## **2.7 Considerações Finais**

De forma geral, pode-se observar que existem grandes vantagens associadas ao GN, principalmente pela sua versatilidade, economia e no que se refere ao meio ambiente.

Como visto, o gás natural, concorre com diversos energéticos, como o óleo combustível, o gás liquefeito de petróleo, a lenha, o carvão e ainda com o diesel, o propano, o hidrogênio e a eletricidade. A sua amplitude de usos o faz um competidor potencial de quase todos os demais combustíveis alternativos.

Entretanto, a falta de uma aplicação na qual ele seja indispensável, e para o qual não haja concorrentes, faz com que ele possa enfrentar em todos os segmentos de mercado, a concorrência de outros produtos.

É importante ressaltar a importância dos setores residencial e comercial na estratégia nacional de uso do gás de forma intensiva. Tal processo possibilita a efetivação de aspectos positivos ao desenvolvimento, como a criação de novos empregos ao longo de toda a cadeia produtiva, englobando atividades na fabricação, instalação, conversão e manutenção de equipamentos, tal quanto à competitividade no setor de energia e a promoção de uma maior eficiência energética.

Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de uma ferramenta de simulação com o objetivo de analisar aspectos econômico-financeiros na utilização do gás natural em alternativa a um outro energético concorrente, no caso a energia elétrica. Neste trabalho, adotou-se o segmento residencial por ser um mercado em expansão significativa.

## **CAPÍTULO 3 – MODELAGEM ECONÔMICO-FINANCEIRA PROPOSTA**

### **3.1 Introdução**

No entendimento de um sistema real seriam necessárias repetidas experimentações, muitas vezes arriscadas, as quais demandariam um longo período de tempo para análise. Conseqüentemente, a utilização de modelos que emulam sistemas reais e possibilitam a realização de simulações tornam-se necessários.

O modelo para análise econômico-financeira, apresentado neste capítulo, visa auxiliar o cliente no processo de tomada de decisão a respeito de um dado investimento.

A análise das alternativas de investimento corresponde, somente, a uma parte do processo de solução do problema, tendo em vista que o emprego de técnicas adequadas de modelagem é essencial para que haja resultados confiáveis e representativos.

Deste modo, a modelagem proposta baseou-se na técnica de Dinâmica de Sistemas (DS), que permite a simulação, análise e discussão de problemas complexos (problemas de difícil formulação matemática ou com grande espaço de busca) e não lineares, formando uma via importante para enfocar e tomar decisões concernentes ao problema.

### **3.2 Estruturação do Modelo Proposto**

Delineando o problema de análise na avaliação da viabilidade econômico-financeira do uso do gás natural (GN) em instalações prediais residenciais para aquecimento de água, em alternativa à energia elétrica (EE), propõe-se um modelo que permite a análise dos aspectos relacionados com seu equilíbrio econômico e financeiro. Para isso, o modelo foi estruturado em três módulos principais (Módulo Técnico, Módulo Econômico e Módulo Tomada de Decisão), como ilustrado na Figura 3.1 e analisado a seguir.

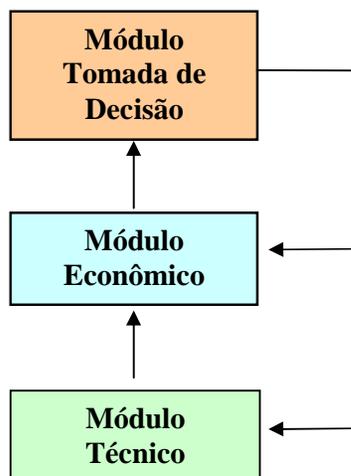


Figura 3.1 – Modelo para análise econômico-financeira da utilização do gás natural em instalações prediais residenciais

O módulo técnico determina o consumo e, conseqüentemente, as despesas de GN e EE. Levou-se em conta as restrições operativas dos equipamentos utilizados para os dois energéticos.

O módulo econômico utiliza os resultados fornecidos pelo módulo técnico (despesas com GN e EE) para determinar o resultado econômico (taxas, fluxo de caixa, valor presente líquido, taxa interna de retorno, etc.) da alternativa utilizada.

O módulo tomada de decisão, por sua vez, com base nas informações fornecidas pelo módulo econômico, avalia as estratégias propostas e permite a implementação/modificação de fatores que podem afetar os módulos técnico e econômico ou somente econômico.

### 3.3 Aspectos de Implementação

É importante observar que o ambiente competitivo, conseqüência do processo de reestruturação do setor elétrico brasileiro, exige o uso combinado de métodos qualitativos (aspectos estratégicos) e quantitativos (aspectos operacionais). Neste contexto, Pidd [53] apresenta duas abordagens distintas, mas que atuam em conjunto, são elas:

- *Hard* - procura a resolução de problemas através de uma maneira sistematizada, abrangendo três técnicas de modelagem: Programação Matemática, Simulação Computacional e Métodos Heurísticos;

- *Soft* - procura compreender uma determinada situação sem se preocupar diretamente com a resolução de um suposto problema. A abordagem *soft* abrange quatro técnicas: Dinâmica de Sistemas (DS), Metodologia de Sistemas *Soft* (*Soft System Methodology*), Mapeamento Cognitivo e SODA (*Strategic Options Development and Analysis*).

Sendo assim, nessas condições, o modelo proposto foi implementado através da técnica de Dinâmica de Sistemas, que permite lidar com as duas abordagens, pois utiliza principalmente dois tipos de notação: Diagramas de Laço Causal (comuns à modelagem *soft*) e Diagramas de Estoque e Fluxo (característicos da modelagem *hard*) [54].

### 3.3.1 Considerações sobre Dinâmica de Sistemas

A modelagem via Dinâmica de Sistemas surgiu na década de 60, por Jay W. Forrester no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). A DS, segundo Forrester em seu livro *Industrial Dynamics* (1961), começou com o nome de Dinâmica Industrial, sendo definida como [12]:

*“... o estudo das características de realimentação de informações de atividades industriais, a fim de mostrar como a estrutura organizacional, a amplificação (em políticas) e os lapsos de tempo (em decisões e ações) interagem para influenciar o sucesso do empreendimento. Ela trata da interação entre fluxos de informação, dinheiro, pedidos, materiais, pessoal e equipamentos em uma companhia, uma indústria ou uma economia nacional”.*

Forrester [12] desenvolveu uma técnica de modelagem, análise e simulação de sistemas que possuem inter-relacionamentos complexos e processos não-lineares, utilizando conceitos de gestão, teoria de sistemas de controle e de simulação computacional, permitindo:

- compreender a operação do sistema real;
- determinar os fatores que exercem maior influência sobre o comportamento do sistema;
- avaliar as conseqüências da implementação de diversas formas de controle;
- obter funções de controle viáveis que garantam a máxima satisfação.

Por conseguinte, Mohapatra [55] apresenta algumas das principais vantagens desta técnica de modelagem, como: habilidade de tratar problemas tanto de longo prazo quanto de curto prazo, em sistemas reais; simplicidade com que relações complexas e não lineares podem ser modeladas; habilidade para modelar variáveis sociais; facilidade com que os efeitos das alternativas políticas podem ser testados; entre outras.

No entanto, o primeiro passo ao se utilizar a DS, é entender os mecanismos de *feedback* (realimentação) que fazem parte do sistema em estudo. Tais mecanismos podem ser representados através de Diagramas de Laço Causal (também chamados de Diagramas de Influência, Diagramas de *Feedback* ou Diagramas de *Loop*).

### 3.3.1.1 Diagramas de Laço Causal

Os diagramas de laço causal (DLC), de natureza qualitativa, são estruturas em forma de grafos, utilizados para a visualização de qualquer sistema, através da identificação de suas características estruturais, das relações de causa e efeito e dos tempos de espera (*delays* ou atrasos) presentes no comportamento do sistema.

Estas estruturas facilitam a representação do problema real, ou seja, permitem a visualização de como seus elementos interagem e influenciam o todo, e o consequente desenvolvimento dos modelos matemáticos [56].

No DLC, uma relação de causa e efeito indica a influência que uma variável exerce sobre outra, ou seja, o efeito de qualquer outra variável é ignorado quando é analisada uma relação causal. A relação é representada por uma seta unindo duas variáveis à variável causal e à variável afetada. Se uma mudança na direção da variável causal provoca uma alteração na mesma direção da variável afetada, então se diz que a influência é positiva, caso contrário, diz-se que é negativa.

A Figura 3.2 mostra as relações causais para as variáveis consideradas como determinantes no uso do gás natural em instalações prediais residenciais. Tais relações de causa e efeito servem de base para a criação de um ambiente de simulação que permita ao usuário a tomada de decisão, considerando a influência de múltiplos critérios.

É importante ressaltar, que o DLC foi construído em função do conhecimento relativo ao sistema, onde, por muitas vezes, resulta da subjetividade e intuição do modelador.

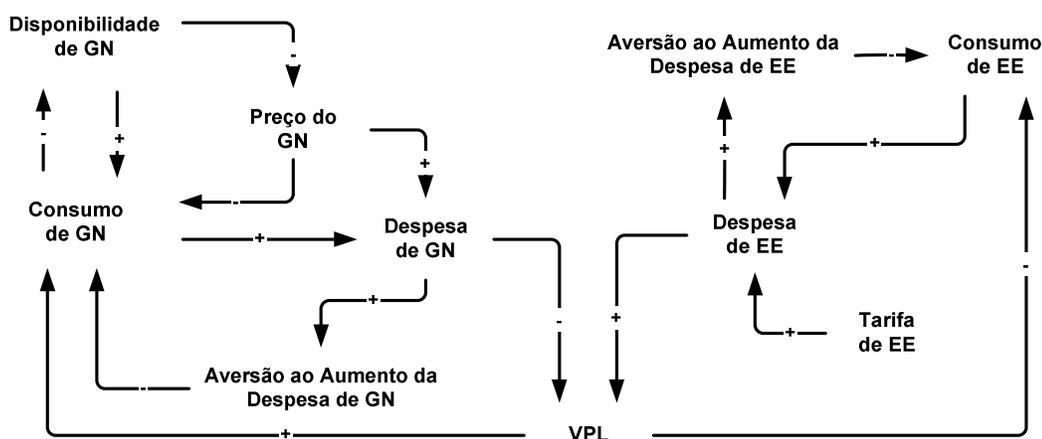


Figura 3.2 – Diagrama de laço causal do modelo proposto

No DLC, as variáveis podem ser assim especificadas:

- Disponibilidade de GN - exerce uma influência positiva na variável *Consumo de GN*, pois quanto maior disponibilidade do gás natural maior poderá ser o seu consumo e vice-versa; e uma influência negativa na variável *Preço do GN*, pois quanto maior a disponibilidade do energético menor poderá ser o seu preço e vice-versa;
- Preço do GN - exerce uma influência negativa na variável *Consumo de GN*, pois quanto maior o preço do gás natural menor poderá ser o seu consumo e vice-versa; e uma influência positiva na variável *Despesa de GN*, pois quanto maior o preço do gás natural maior será a despesa com este energético e vice-versa;
- Despesa de GN - exerce uma influência positiva na variável *Aversão ao Aumento da Despesa de GN*, pois quanto maior for a despesa de gás natural maior poderá ser a aversão ao aumento e vice-versa; e uma influência negativa na variável VPL, pois quanto maior a despesa de gás natural menor será o valor presente líquido (VPL) da alternativa analisada e vice-versa;
- Aversão ao Aumento da Despesa de GN - exerce uma influência negativa na variável *Consumo de GN*, pois quanto maior a aversão ao aumento da despesa de gás natural menor poderá ser o seu consumo e vice-versa;
- Consumo de GN - exerce uma influência negativa na variável *Disponibilidade de GN*, pois quanto maior o consumo de gás natural menor poderá ser a

disponibilidade do energético e vice-versa; e uma influência positiva na variável *Despesa de GN*, pois quanto maior o consumo de gás natural maior será a despesa com este energético e vice-versa;

- Tarifa de EE - exerce uma influência positiva na variável *Despesa de EE*, pois quanto maior a tarifa de energia elétrica maior será a despesa com este energético e vice-versa;
- Despesa de EE - exerce uma influência positiva na variável *Aversão ao Aumento na Despesa de EE*, pois quanto maior for a despesa de energia elétrica maior poderá ser a aversão a este aumento e vice-versa; e uma influência positiva na variável *VPL*, pois quanto maior a despesa de energia elétrica maior será o valor presente líquido (VPL) da alternativa analisada e vice-versa;
- Aversão ao Aumento na Despesa de EE - exerce uma influência negativa na variável *Consumo de EE*, pois quanto maior a aversão ao aumento da despesa de energia elétrica menor poderá ser o seu consumo vice-versa;
- Consumo de EE - exerce uma influência positiva na variável *Despesa de EE*, pois quanto maior o consumo de energia elétrica maior será a despesa com este energético e vice-versa;
- VPL - exerce uma influência positiva na variável *Consumo de GN*, pois quanto maior o valor presente líquido da alternativa em análise maior poderá ser o consumo de gás natural e vice-versa; e uma influência negativa na variável *Consumo de EE*, pois quanto maior o valor presente líquido da alternativa em análise menor poderá ser o consumo de energia elétrica e vice-versa.

No entanto, além do diagrama de laço causal, responsável pela representação da estrutura geral do sistema [57] e, conseqüentemente, pela visualização dos principais laços do modelo, existem os Diagramas de Estoque e Fluxo (abordagem quantitativa da Dinâmica de Sistemas) que visam representar, de forma clara, as relações entre as variáveis de nível e taxa, acentuando a existência dos laços de realimentação, e como estes laços se interligam para formar o sistema.

### 3.3.1.2 Diagramas de Estoque e Fluxo

Em um diagrama de estoque e fluxo (DEF), a estrutura do sistema é representada matematicamente, permitindo quantificar as relações de causa e efeito entre os elementos e também a exploração da evolução do sistema ao longo de um certo período de tempo. O DEF pode ser descrito através de uma linguagem composta de alguns elementos como as variáveis de nível, de taxa, auxiliares e constantes.

As variáveis de nível, também designadas de estoque (*stock*) ou de estado, representam o estado do sistema em um dado instante, e as acumulações (integrações) se o fluxo é contínuo, ou somatórias se os fluxos são discretos. Uma equação de nível pode ser representada através de uma equação diferencial de primeira ordem [58]:

$$L = L_0 + \int_0^t (RA - RS) dt \quad (3.1)$$

Onde:

L valor do nível em qualquer instante de tempo t

L<sub>0</sub> valor do nível inicial, em t = 0

$\int_0^t$  operador indicando integração ou acumulação do tempo 0 até t, da diferença entre as taxas de fluxo (RA - RS)

RA taxa adicionada ao nível L

RS taxa subtraída do nível L

dt operador diferencial

A variável de taxa, também designada variável de fluxo (*flow*), determina a que velocidade uma variável de nível muda de valor. O seu valor é baseado somente em variáveis de nível e constantes, não dependendo de valores passados e nem de outras variáveis de taxa.

No entanto, as variáveis auxiliares representam uma operação algébrica com qualquer combinação de variáveis de estoque, de fluxo, constantes, e até mesmo com outras variáveis auxiliares.

Também podem fazer parte do modelo as constantes, que são invariantes ao longo da simulação, pois variáveis de taxa e auxiliares dependem muitas vezes de tais elementos; e as fontes ou sumidouros representando a fonte e o destino.

Ainda, na representação dos diagramas de estoque e fluxo existem as linhas de fluxo, que representam: um fluxo físico (representam quantidades conservativas, que podem ser

movidas de um lugar para outro no sistema); um fluxo de informação (desempenham papel de interconexão entre fluxos físicos, isto é, auxiliam na tomada de decisão); e um fluxo de inicialização de variáveis de nível.

No presente trabalho, o *software* empregado *Powersim 2003* [59], utiliza a simbologia ilustrada pela Tabela 3.1, na representação do diagrama de estoque e fluxo.

Tabela 3.1 – Simbologia para a representação dos diagramas de estoque e fluxo

Símbolo	Representação
	Variável de nível
	Variável de nível com mais de uma dimensão
	Variável de taxa
	Variável de taxa com mais de uma dimensão
	Variável auxiliar
	Variável auxiliar com mais de uma dimensão
	Constante
	Constante com mais de uma dimensão
	Fonte ou Sumidouro
	Fluxo físico
	Fluxo de informação
	Fluxo de inicialização
	Direção na transferência da conexão da variável: entrada (in)
	Direção na transferência da conexão da variável: saída (out)
	Direção na transferência da conexão da variável: entrada e saída (in-out)

Tem-se então que, na Dinâmica de Sistemas o comportamento dinâmico de um sistema se baseia no princípio da acumulação, ou seja, tal comportamento surge quando algo flui por algum meio, se acumulando (ou esgotando) de alguma forma.

É importante ressaltar que, segundo Cardozo [60] a abordagem de um problema a partir da perspectiva de Dinâmica de Sistemas, compreende um conjunto de oito etapas: aquisição de conhecimentos sobre o sistema, identificando as variáveis mais importantes do modelo; especificação do comportamento dinâmico; construção do diagrama de laço causal representando os "mapas mentais" dos analistas e tomadores de decisão, os quais visam o entendimento explícito de um problema e a busca das relações entre os componentes da estrutura; construção do diagrama de estoque e fluxo; estimativa de valores dos parâmetros; verificação da consistência ou simulação do modelo; análise de sensibilidade e aplicação de testes de políticas. Conseqüentemente, o modelo de simulação proposto foi desenvolvido conforme descrito a seguir.

### **3.4 Módulos do Modelo Proposto**

Nesta abordagem dinâmica, o modelo proposto, que permite a análise dos aspectos relacionados com seu equilíbrio econômico e financeiro, foi estruturado em três módulos principais (módulo técnico, módulo econômico e módulo tomada de decisão), ilustrado pela Figura 3.1, e descrito a seguir.

#### **3.4.1 Módulo Técnico**

O módulo técnico tem por objetivo determinar as despesas de energia elétrica e de gás natural no aquecimento de água em prédios residenciais, ou seja, modelar as variáveis que afetam os respectivos consumos, levando em consideração a interface e as restrições em cada um deles.

##### **3.4.1.1 Modelagem das Despesas na Utilização da Energia Elétrica**

Após análise do problema sob investigação, foi construída uma representação formal do sistema e de seu comportamento, buscando expressar a realidade através de modelos, divididos em: modelo matemático e modelo computacional, esse construído via Dinâmica de Sistemas, para a obtenção das despesas na utilização da EE.

- **Modelagem Matemática das Despesas na Utilização da Energia Elétrica**

A Despesa Operacional de Energia Elétrica ( $Dop_{EE}$ ) pode ser expressa como:

$$Dop_{EE} = \sum_{k=1}^N (\beta_k \cdot C_{EE}^k \cdot Tr_{EE}^k) \quad (3.2)$$

Onde:

$Dop_{EE}$  despesa operacional de EE, em R\$/mo, no período “k”;

$\beta_k$  taxa de desconto, em %, no período “k”;

$C_{EE}^k$  consumo de EE, em kWh, no período “k”;

$Tr_{EE}^k$  tarifa de EE, em R\$/((kWh)mo), no período “k”;

$N$  horizonte de planejamento ou de simulação, em meses.

O consumo de EE no período “k” ( $C_{EE}^k$ ), pode ser definido como:

$$C_{EE}^k = C_{EE1}^k + C_{EE2}^k \quad (3.3)$$

Onde:

$C_{EE}^k$  consumo de EE, em kWh, no período “k”;

$C_{EE1}^k$  consumo de EE do chuveiro elétrico, em kWh/mo, no período “k”;

$C_{EE2}^k$  consumo de EE da torneira elétrica, em kWh/mo, no período “k”.

Sendo assim, o equacionamento matemático do consumo de EE proveniente da utilização do chuveiro elétrico ( $C_{EE1}^k$ ), para o período determinado, pode ser definido pela expressão (3.4).

$$C_{EE1}^k = \sum_{k=1}^N (P_{Ch}^k \cdot T_{Tot1}^k) \quad (3.4)$$

Onde:

$C_{EE1}^k$  consumo de EE do chuveiro elétrico, em kWh/mo, no período “k”;

$P_{Ch}^k$  potência do chuveiro elétrico, em Watts, no período “k”;

$T_{Tot1}^k$  tempo de utilização do chuveiro elétrico, em horas, no período “k”;

$N$  horizonte de planejamento ou de simulação, em meses.

A seguir, é definida a expressão para o cálculo da potência do chuveiro elétrico no período “k” ( $P_{Ch}^k$ ):

$$P_{Ch}^k = \begin{cases} P_{Máx} & \text{se } t_{Água}^k + t_{Econ1}^k \geq t_{Adeq}^k \\ P_{Méd} & \text{se } t_{Água}^k + t_{Econ1}^k < t_{Adeq}^k \end{cases} \quad (3.5)$$

Onde:

$P_{Ch}^k$  potência do chuveiro elétrico, em Watts, no período “k”;

$P_{Máx}$  valor da potência máxima do chuveiro elétrico, em Watts, no período “k”;

$P_{Méd}$  valor da potência média ou econômica do chuveiro elétrico, em Watts, no período “k”;

$t_{Água}^k$  temperatura de entrada da água, em °C, no período “k”;

$t_{Econ1}^k$  temperatura de elevação máxima da água atingida no modo econômico do chuveiro elétrico, em °C no período “k”;

$t_{Adeq}^k$  temperatura da água adequada ou desejada, em °C, para o banho no período “k”.

O tempo de utilização do chuveiro elétrico para o mesmo período ( $T_{Tot1}^k$ ), pode ser definido a partir da expressão (3.6).

$$T_{Tot1}^k = (Nb^k . Nm^k . Nh^k) \quad (3.6)$$

Onde:

$T_{Tot1}^k$  tempo de utilização do chuveiro elétrico, em horas, no período “k”;

$Nb^k$  número de banhos, por morador, no período “k”;

$Nm^k$  número de moradores da residência, no período “k”;

$Nh^k$  tempo de banho por morador, em horas, no período “k”.

No entanto, nem sempre o chuveiro elétrico permite elevar a temperatura de entrada da água ao valor desejado pelo usuário, sendo assim, essa diferença consiste em um erro, chamado erro de temperatura no período “k” ( $E_t^k$ ), calculado a partir da expressão (3.7).

$$E_t^k = 0 \quad \text{se} \quad t_{Lim1}^k - G_t^k > 0 \quad (3.7)$$

$$\text{senão} \quad E_t^k = t_{Lim1}^k - G_t^k$$

Onde:

$E_t^k$  erro de temperatura, em °C, no período “k”;

$t_{Lim1}^k$  temperatura limite, em °C, para aquecimento da água conforme a vazão, no período “k”;

$G_t^k$  gradiente de temperatura, em °C, no período “k”.

O gradiente de temperatura no período “k” ( $G_t^k$ ), integrante da expressão (3.7) é calculado a partir de:

$$G_t^k = t_{Adeq}^k - t_{Água}^k \quad (3.8)$$

Onde:

$G_t^k$  gradiente de temperatura, em °C, no período “k”.

$t_{Adeq}^k$  temperatura da água adequada ou desejada, em °C, para o banho no período “k”;

$t_{Água}^k$  temperatura de entrada da água, em °C, no período “k”.

Por conseguinte, o equacionamento matemático do consumo de EE proveniente da utilização da torneira elétrica no período “k” ( $C_{EE2}^k$ ) pode ser definido a partir da expressão (3.9).

$$C_{EE2}^k = \sum_{k=1}^N (P_{Torn}^k \cdot T_{Tot2}^k) \quad (3.9)$$

Onde:

$C_{EE2}^k$  consumo de EE da torneira elétrica, em kWh/mo, no período “k”.

$P_{Torn}^k$  potência da torneira elétrica, em Watts, no período “k”;

$T_{Tot2}^k$  tempo de utilização da torneira elétrica, em horas, no período “k”;

$N$  horizonte de planejamento ou de simulação, em meses.

É importante ressaltar que na expressão (3.9) a potência da torneira elétrica no período “k” ( $P_{Torn}^k$ ) é calculada da mesma forma descrita para o chuveiro elétrico, apresentada pela expressão (3.5), assim como, o erro resultante das diferenças de temperatura, calculado pela expressão (3.7).

No entanto, difere do apresentado para o chuveiro elétrico, o tempo de utilização da torneira elétrica no período “k” ( $T_{Tot2}^k$ ), pode ser definido como:

$$T_{Tot2}^k = (Nh^k) \quad (3.10)$$

Onde:

$T_{Tot2}^k$  tempo de utilização da torneira elétrica, em horas, no período “k”;

$Nh^k$  tempo de uso da torneira elétrica, em horas, no período “k”.

- **Modelagem Computacional das Despesas na Utilização da Energia Elétrica**

A modelagem matemática apresentada anteriormente, foi implementada computacionalmente, utilizando o *software Powersim 2003* [59], com uso do diagrama de estoque e fluxo do consumo mensal de energia elétrica (chuveiro elétrico e torneira elétrica), permitindo assim, determinar as despesas mensais ao longo do horizonte de simulação.

Inicialmente, será apresentado o DEF responsável pela obtenção do consumo mensal de EE na utilização do chuveiro elétrico, ilustrado na Figura 3.3.

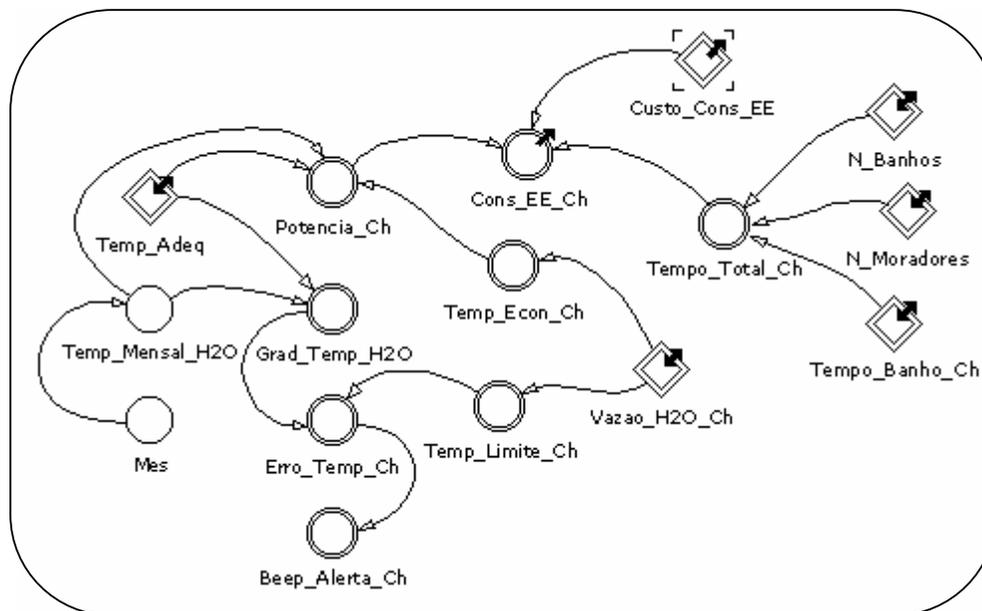


Figura 3.3 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização do chuveiro elétrico

As variáveis apresentadas podem ser definidas conforme Tabela 3.2, descrita a seguir.

Tabela 3.2 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização do chuveiro elétrico

Variável	Unidade	Descrição
Temp_Adeq	°C	Temperatura adequada - temperatura adequada da água para o banho, podendo variar de 24 a 39°C.
Temp_Mensal_H2O	°C	Temperatura da água - temperatura de entrada da água, variando conforme os 12 meses do ano.
Mes	-	Identifica o mês corrente no período de simulação.
Potencia_Ch	W	Potência do chuveiro elétrico - para a potência média ou econômica, 3200 Watts e para a potência máxima, 5400Watts.
Grad_Temp_H2O	°C	Gradiente de temperatura da água - corresponde a diferença da temperatura adequada e da temperatura de entrada da água.
Erro_Temp_Ch	°C	Erro de temperatura - conforme determinadas vazões, o chuveiro elétrico tem um limite para aquecimento da água. Este erro representa a diferença da temperatura desejada e a temperatura real da água aquecida.
Beep_Alerta_Ch	-	<i>Beep</i> de alerta - alerta que não será possível elevar a temperatura da água até a temperatura adequada.
Temp_Limite_Ch	°C	Temperatura limite - temperatura limite no aquecimento da água, podendo variar conforme a vazão de água.
Temp_Econ_Ch	°C	Temperatura econômica - possível elevação de temperatura da água na potência média ou econômica do chuveiro elétrico.
Vazao_H2O_Ch	l/min	Vazão de água - vazão considerada na simulação do chuveiro elétrico.
Cons_EE_Ch	kWh/mo	Consumo de energia elétrica - consumo relativo à utilização do chuveiro elétrico.
Custo_Cons_EE	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de energia elétrica - sua influência se dará no consumo pelo chuveiro elétrico e pela torneira elétrica.
Tempo_Total_Ch	h	Tempo de uso total - tempo de uso total do chuveiro elétrico. Considera a quantidade de banhos por pessoa, o número de moradores e o tempo médio do banho.
N_Banhos	-	Número de banhos - número de banhos diários para uma pessoa.
N_Moradores	-	Número de moradores - número de moradores da residência.
Tempo_Banho_Ch	h	Tempo de banho - tempo médio do banho para uma pessoa.

Ademais, será apresentado o DEF responsável pela obtenção do consumo mensal de energia elétrica na utilização da torneira elétrica, ilustrado na Figura 3.4.

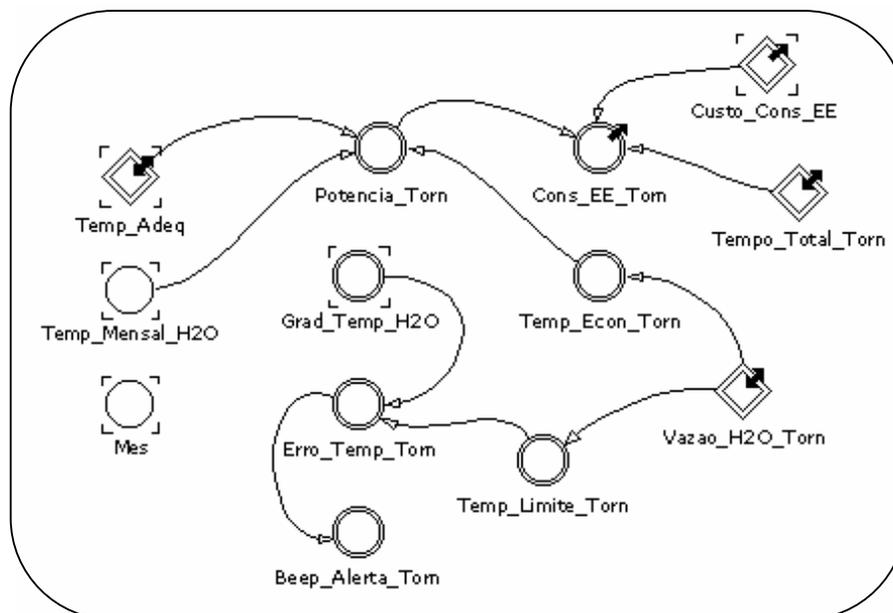


Figura 3.4 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização da torneira elétrica

As variáveis apresentadas no DEF da Figura 3.4 estão descritas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de energia elétrica, em kWh/mo, na utilização da torneira elétrica

<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
Temp_Adeq	°C	Temperatura adequada - temperatura adequada da água para o banho, podendo variar de 24 a 39°C.
Temp_Mensal_H2O	°C	Temperatura da água - temperatura de entrada da água, variando conforme os 12 meses do ano.
Mes	-	Identifica o mês corrente no período de simulação.
Potencia_Torn	W	Potência da torneira elétrica - para a potência média ou econômica, 3000 Watts e para a potência máxima, 4400Watts.
Grad_Temp_H2O	°C	Gradiente de temperatura da água - corresponde a diferença da temperatura adequada e da temperatura de entrada da água.
Erro_Temp_Torn	°C	Erro de temperatura - conforme determinadas vazões, a torneira elétrica tem um limite para aquecimento da água. Este erro representa a diferença da temperatura desejada e a temperatura real da água aquecida.
Beep_Alerta_Torn	-	<i>Beep</i> de alerta - alerta que não será possível elevar a temperatura da água até a temperatura adequada.
Temp_Limite_Torn	°C	Temperatura limite - temperatura limite no aquecimento da água, podendo variar conforme a vazão de água.
Temp_Econ_Torn	°C	Temperatura econômica - possível elevação de temperatura da água na potência média ou econômica da torneira elétrica.
Vazao_H2O_Torn	l/min	Vazão de água - vazão considerada na simulação da torneira elétrica.
Cons_EE_Torn	kWh/mo	Consumo de energia elétrica - consumo relativo à utilização da torneira elétrica.
Custo_Cons_EE	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de energia elétrica - sua influência se dará no consumo pelo chuveiro elétrico e pela torneira elétrica.
Tempo_Total_Torn	h	Tempo de uso total - tempo de uso total da torneira elétrica.

Contudo, conhecendo-se os parâmetros consumo de eletricidade na utilização do chuveiro elétrico, e consumo ao se utilizar à torneira elétrica, é possível estimar a despesa total mensal de EE. Deste modo, é apresentado o digrama de estoque e fluxo da obtenção das despesas, ilustrado na Figura 3.5.

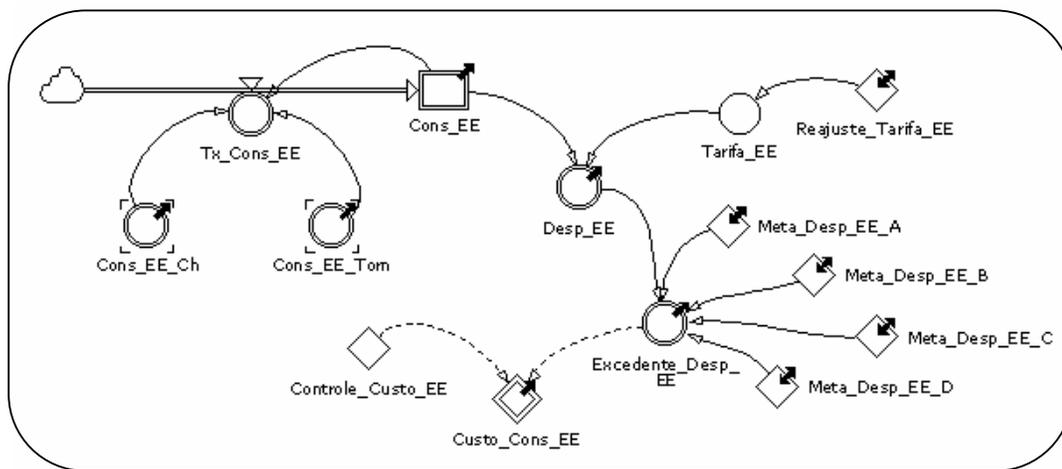


Figura 3.5 – DEF representativo da obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de energia elétrica

As variáveis apresentadas no DEF da Figura 3.5 estão descritas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de energia elétrica

<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
Cons_EE_Ch	kWh/mo	Consumo de energia elétrica - consumo relativo à utilização do chuveiro elétrico.
Cons_EE_Torn	kWh/mo	Consumo de energia elétrica - consumo relativo à utilização da torneira elétrica.
Tx_Cons_EE	kWh/mo	Taxa consumo de energia elétrica - taxa de entrada da variável consumo total de EE.
Meta_Desp_EE_A	R\$/mo	Meta de despesa mensal de EE para o perfil A.
Meta_Desp_EE_B	R\$/mo	Meta de despesa mensal de EE para o perfil B.
Meta_Desp_EE_C	R\$/mo	Meta de despesa mensal de EE para o perfil C.
Meta_Desp_EE_D	R\$/mo	Meta de despesa mensal de EE para o perfil D.
Excedente_Desp_EE	%	Excedente na despesa mensal de energia elétrica - conforme as metas mensais de despesa com EE para os quatros perfis considerados (A, B, C e D) haverá excedente ou não.
Custo_Cons_EE	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de energia elétrica - sua influência se dará no consumo pelo chuveiro elétrico e pela torneira elétrica.
Controle_Custo_EE	-	Controle do custo das despesas mensais no consumo de energia elétrica - sinaliza valor “1” se a influência do custo das despesas mensais no consumo de EE estiver ativa, ou “0” se estiver inativa.
Cons_EE	kWh	Consumo de energia elétrica - consumo total de EE (somatório do consumo do chuveiro elétrico e da torneira elétrica).
Desp_EE	R\$/mo	Despesa mensal de energia elétrica.
Reajuste_Tarifa_EE	%	Reajuste na tarifa de energia elétrica.
Tarifa_EE	R\$/((kWh)mo)	Tarifa de energia elétrica - representa o valor da tarifa de EE praticada pela empresa distribuidora local.

### 3.4.1.2 Modelagem das Despesas na Utilização do Gás Natural

Assim como as despesas de energia elétrica, as despesas na utilização do gás natural também foram modeladas matematicamente e computacionalmente, conforme descritas a seguir.

- **Modelagem Matemática das Despesas na Utilização do Gás Natural**

O cálculo da Despesa Operacional de Gás Natural ( $Dop_{GN}$ ) pode ser expresso pela expressão (3.11).

$$Dop_{GN} = \sum_{k=1}^N (\beta_k \cdot C_{GN}^k \cdot Pr_{GN}^k) \quad (3.11)$$

Onde:

$Dop_{GN}$  despesa operacional de GN, em R\$/mo, no período “k”;

$\beta_k$  taxa de desconto, em %, no período “k”;

$C_{GN}^k$  consumo de GN, em m<sup>3</sup>, no período “k”;

$Pr_{GN}^k$  preço do GN, em R\$/((m<sup>3</sup>)mo) no período “k”;

$N$  horizonte de planejamento ou de simulação, em meses.

Para o período “k”, o consumo de gás natural ( $C_{GN}^k$ ) pode ser definido da seguinte forma:

$$C_{GN}^k = C_{GN1}^k + C_{GN2}^k \quad (3.12)$$

Onde:

$C_{GN}^k$  consumo de GN, em m<sup>3</sup>, no período “k”;

$C_{GN1}^k$  consumo de GN, em m<sup>3</sup>/mo, na utilização do aquecedor para banho, no período “k”;

$C_{GN2}^k$  consumo de GN, em m<sup>3</sup>/mo, na utilização do aquecedor para uso na torneira, no período “k”.

Dessa forma, o consumo equivalente da utilização do aquecedor a GN no aquecimento de água para banho ( $C_{GN1}^k$ ), é descrito pela expressão (3.13).

$$C_{GN1}^k = \sum_{k=1}^N (V_{GN1}^k \cdot T_{Tot1}^k) \quad (3.13)$$

Onde:

$C_{GN1}^k$  consumo de GN, em m<sup>3</sup>/mo, na utilização do aquecedor para banho, no período “k”;

$V_{GN1}^k$  volume de GN consumido, em m<sup>3</sup>, na utilização do aquecedor para banho, no período “k”;

$T_{Tot1}^k$  tempo de utilização, em horas, do aquecedor a GN no período “k”;

$N$  horizonte de planejamento ou de simulação, em meses.

O volume de gás natural consumido, na utilização do aquecedor para banho no período “k” ( $V_{GN1}^k$ ), pode ser formulado como:

$$V_{GN1}^k = f(Vz_{Água1}^k, G_t^k) \quad (3.14)$$

Onde:

$V_{GN1}^k$  volume de GN consumido, em m<sup>3</sup>, na utilização do aquecedor para banho, no período “k”;

$Vz_{Água1}^k$  vazão de água, em l/min, para o banho no período “k”;

$G_t^k$  gradiente de temperatura, em °C, no período “k”.

Sendo que, o gradiente de temperatura no período “k” ( $G_t^k$ ), integrante da expressão (3.14) é calculado a partir de:

$$G_t^k = t_{Adeq}^k - t_{Água}^k \quad (3.15)$$

Onde:

$G_t^k$  gradiente de temperatura, em °C, no período “k”.

$t_{Adeq}^k$  temperatura da água adequada ou desejada, em °C, para o banho no período “k”;

$t_{Água}^k$  temperatura de entrada da água, em °C, no período “k”.

Cabe observar que o tempo de utilização do aquecedor a GN no período “k” ( $T_{Tot1}^k$ ) é calculado de acordo com a expressão seguinte:

$$T_{Tot1}^k = (Nb^k . Nm^k . Nh^k) \quad (3.16)$$

Onde:

$T_{Tot1}^k$  tempo de utilização, em horas, do aquecedor a GN no período “k”;

$Nb^k$  número de banhos, por morador, no período “k”;

$Nm^k$  número de moradores da residência, no período “k”;

$Nh^k$  tempo de banho por morador, em horas, no período “k”.

Entretanto, às vezes o aquecedor a GN não permite elevar a temperatura de entrada da água ao valor desejado pelo usuário, assim como acontece com o chuveiro elétrico (característica esta dependente do modelo de equipamento utilizado). Da mesma forma, essa diferença consiste em um erro de temperatura no período “k” ( $E_t^k$ ), calculado a partir da expressão a seguir.

$$\begin{aligned} E_t^k = 0 & \quad \text{se} \quad t_{Lim3}^k - G_t^k > 0 \\ & \quad \text{senão} \quad E_t^k = t_{Lim3}^k - G_t^k \end{aligned} \quad (3.17)$$

Onde:

$E_t^k$  erro de temperatura, em °C, no período “k”;

$t_{Lim3}^k$  temperatura limite, em °C, para aquecimento da água conforme a vazão, no período “k”;

$G_t^k$  gradiente de temperatura, em °C, no período “k”.

Ademais, o consumo proveniente da utilização do aquecedor a gás natural para se obter água quente na torneira, no período “k” ( $C_{GN2}^k$ ), pode ser definido a partir da seguinte expressão:

$$C_{GN2}^k = \sum_{k=1}^N (V_{GN2}^k \cdot T_{Tot2}^k) \quad (3.18)$$

Onde:

$C_{GN2}^k$  consumo de GN, em m<sup>3</sup>/mo, na utilização do aquecedor para uso na torneira, no período “k”;

$V_{GN2}^k$  volume de GN consumido, em m<sup>3</sup>, na utilização do aquecedor para uso na torneira, no período “k”;

- $T_{Tot2}^k$  tempo de utilização do aquecedor a GN, em horas, no período “k”;
- $N$  horizonte de planejamento ou de simulação, em meses.

Para o cálculo do volume de gás natural consumido no período “k” ( $V_{GN2}^k$ ), temos:

$$V_{GN2}^k = f(V_{Z_{Água2}}^k, G_t^k) \quad (3.19)$$

Onde:

- $V_{GN2}^k$  volume de GN consumido, em m<sup>3</sup>, na utilização do aquecedor para uso na torneira, no período “k”;
- $V_{Z_{Água2}}^k$  vazão de água, em l/min, para o uso na torneira no período “k”;
- $G_t^k$  gradiente de temperatura, em °C, no período “k”.

É importante destacar que o cálculo do gradiente de temperatura é feito da mesma forma como apresentado pela expressão (3.15). No entanto, o tempo de utilização do aquecedor a GN no período “k” ( $T_{Tot2}^k$ ) é definido conforme a expressão (3.20).

$$T_{Tot2}^k = (Nh^k) \quad (3.20)$$

Onde:

- $T_{Tot2}^k$  tempo de utilização do aquecedor a GN, em horas, no período “k”;
- $Nh^k$  tempo de uso da torneira, em horas, no período “k”.

Deste modo, com relação ao erro de temperatura no período “k” ( $E_t^k$ ), como o aquecimento de água para banho e para o uso na torneira é feito pelo aquecedor a GN, o valor

resultante será o mesmo para os dois, calculado a partir da expressão (3.17), citada anteriormente.

- **Modelagem Computacional das Despesas na Utilização do Gás Natural**

A modelagem matemática apresentada anteriormente foi implementada computacionalmente, utilizando o *software Powersim 2003* [59], com uso do diagrama de estoque e fluxo do consumo de gás natural na utilização do aquecedor de água (para o banho e torneira), determinando assim as despesas mensais ao longo do horizonte de simulação.

Deste modo, é apresentado a seguir, na Figura 3.6, o DEF representativo da obtenção do consumo mensal de GN na utilização do aquecedor de água para banho.

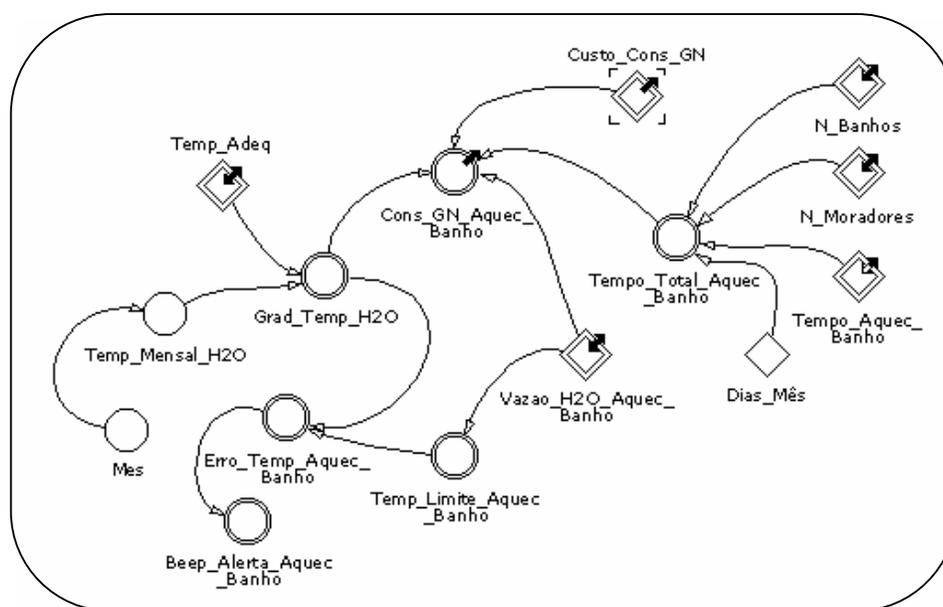


Figura 3.6 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de gás natural, em  $m^3/mo$ , na utilização do aquecedor de água para banho

As variáveis apresentadas pelo DEF da Figura 3.6 estão descritas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de gás natural, em m<sup>3</sup>/mo, na utilização do aquecedor de água para banho

Variável	Unidade	Descrição
Temp_Adeq	°C	Temperatura adequada - temperatura adequada da água para o banho, podendo variar de 24 a 39°C.
Temp_Mensal_H2O	°C	Temperatura da água - temperatura de entrada da água, variando conforme os 12 meses do ano.
Mes	-	Identifica o mês corrente no período de simulação.
Grad_Temp_H2O	°C	Gradiente de temperatura da água - corresponde a diferença da temperatura adequada e da temperatura de entrada da água.
Erro_Temp_Aquec_Banho	°C	Erro de temperatura - conforme determinadas vazões o aquecedor a GN tem um limite para aquecimento da água. Este erro representa a diferença da temperatura desejada e a temperatura real da água aquecida.
Beep_Alerta_Aquec_Banho	-	Beep de alerta - alerta que não será possível elevar a temperatura da água até a temperatura adequada.
Temp_Limite_Aquec_Banho	°C	Temperatura limite - temperatura limite no aquecimento da água, podendo variar conforme a vazão de água.
Vazao_H2O_Aquec_Banho	l/min	Vazão de água - vazão considerada na simulação do aquecedor de água a GN para o uso no banho.
Cons_GN_Aquec_Banho	m <sup>3</sup> /mo	Consumo de gás natural - consumo relativo à utilização do aquecedor a GN para o banho.
Custo_Cons_GN	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de gás natural - sua influência se dará no consumo pelo aquecedor a GN, utilizado para o banho e para o uso na torneira.
Dias_Mes	-	Número de dias do mês.
Tempo_Total_Aquec_Banho	h	Tempo de uso total - tempo de uso total do aquecedor a GN. Considera a quantidade de banhos por pessoa, o número de moradores e o tempo médio do banho.
N_Banhos	-	Número de banhos - número de banhos diários para uma pessoa.
N_Moradores	-	Número de moradores - número de moradores da residência.
Tempo_Aquec_Banho	h	Tempo de banho - tempo médio do banho para uma pessoa.

Além do DEF da Figura 3.6, o diagrama apresentado pela Figura 3.7 simula o consumo mensal de GN na utilização do aquecedor de água para torneira.

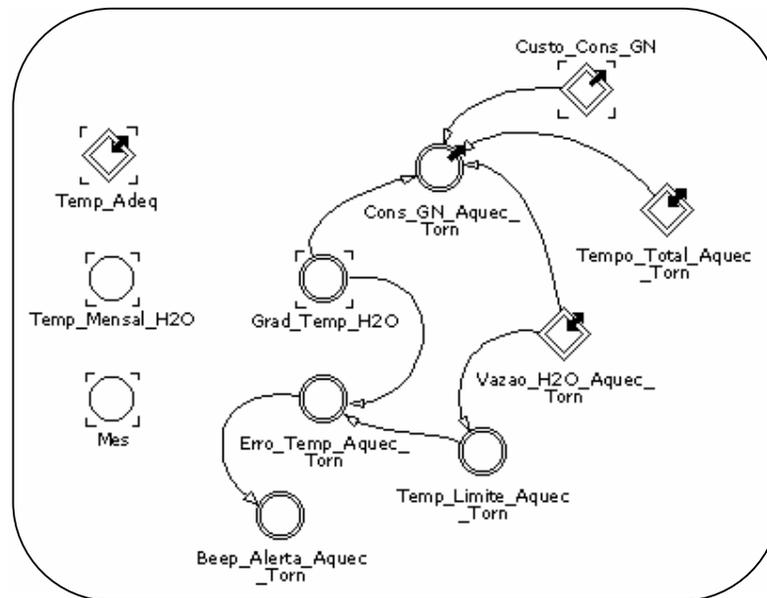


Figura 3.7 – DEF representativo da obtenção do consumo mensal de gás natural, em  $m^3/mo$ , na utilização do aquecedor de água para torneira

A seguir, é apresentada pela Tabela 3.6, as variáveis que compõem o DEF ilustrado na Figura 3.7.

Tabela 3.6 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção do consumo mensal de gás natural, em m<sup>3</sup>/mo, na utilização do aquecedor de água para torneira

Variável	Unidade	Descrição
Temp_Adeq	°C	Temperatura adequada - temperatura adequada da água para o banho, podendo variar de 24 a 39°C.
Temp_Mensal_H2O	°C	Temperatura da água - temperatura de entrada da água, variando conforme os 12 meses do ano.
Mes	-	Identifica o mês corrente no período de simulação.
Grad_Temp_H2O	°C	Gradiente de temperatura da água - corresponde a diferença da temperatura adequada e da temperatura de entrada da água.
Erro_Temp_Aquec_Torn	°C	Erro de temperatura - conforme determinadas vazões o aquecedor a GN tem um limite para aquecimento da água. Este erro representa a diferença da temperatura desejada e a temperatura real da água aquecida.
Beep_Alerta_Aquec_Torn	-	<i>Beep</i> de alerta - alerta que não será possível elevar a temperatura da água até a temperatura adequada.
Temp_Limite_Aquec_Torn	°C	Temperatura limite - temperatura limite no aquecimento da água, podendo variar conforme a vazão de água.
Vazao_H2O_Aquec_Torn	l/min	Vazão de água - vazão considerada na simulação do aquecedor de água a gás para o uso na torneira.
Cons_GN_Aquec_Torn	m <sup>3</sup> /mo	Consumo de gás natural - consumo relativo à utilização do aquecedor a gás para o uso na torneira.
Custo_Cons_GN	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de gás natural - sua influência se dará no consumo pelo aquecedor a GN, utilizado para o banho e para o uso na torneira.
Tempo_Total_Aquec_Torn	h	Tempo de uso total - tempo de uso total da torneira.

Uma vez conhecidos os consumos de gás natural, relativos a utilização do aquecedor a gás natural para o banho e para a torneira, pôde-se implementar o DEF, representado pela Figura 3.8, para a obtenção da despesa total mensal de GN.

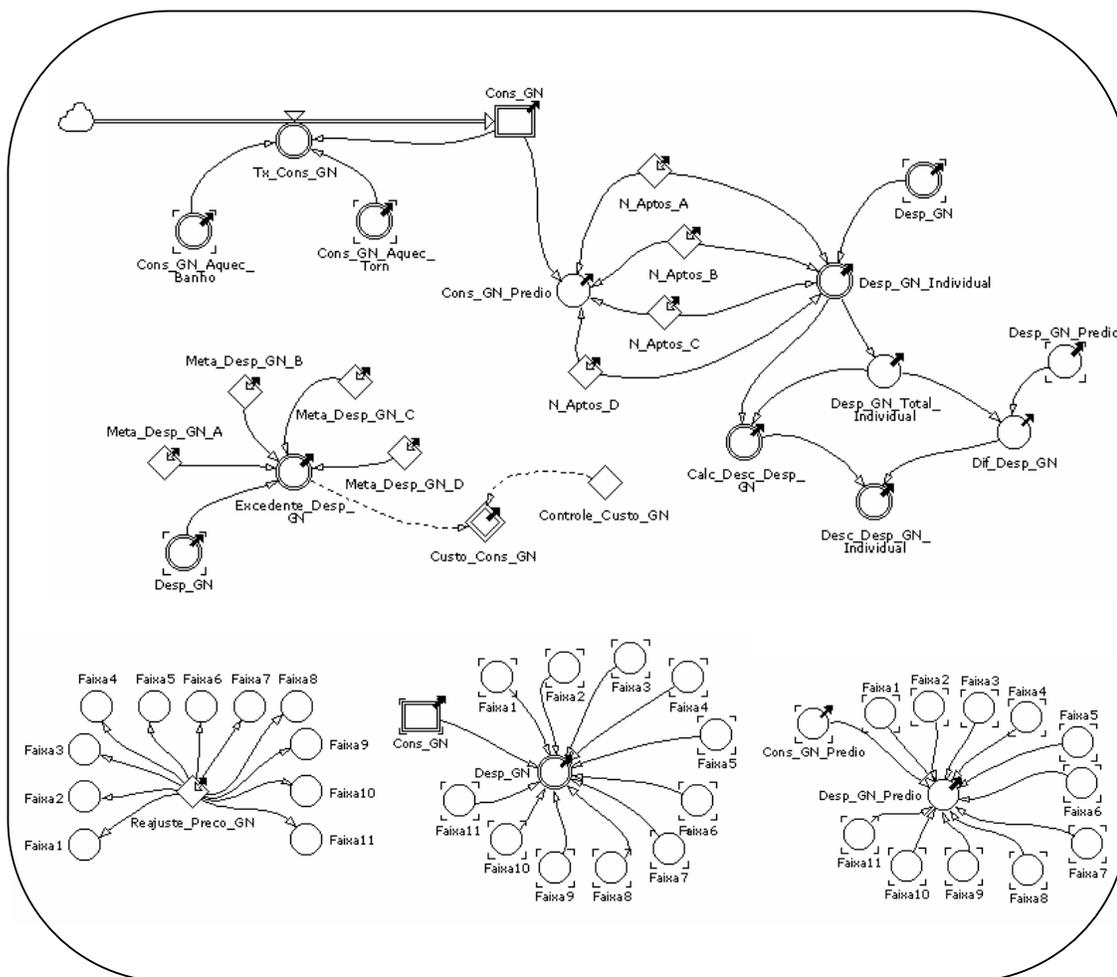


Figura 3.8 – DEF representativo da obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de gás natural

Como anteriormente, as variáveis apresentadas pelo DEF da Figura 3.8 são definidas conforme Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Variáveis do DEF responsáveis pela obtenção da despesa total mensal, em R\$/mo, de gás natural

Variável	Unidade	Descrição
Cons_GN_Aquec_Banho	m <sup>3</sup> /mo	Consumo de gás natural - consumo relativo à utilização do aquecedor a gás para o banho.
Cons_GN_Aquec_Torn	m <sup>3</sup> /mo	Consumo de gás natural - consumo relativo à utilização do aquecedor a gás para o uso na torneira.
Tx_Cons_GN	m <sup>3</sup> /mo	Taxa consumo de gás natural - taxa de entrada da variável consumo total de GN.
Cons_GN	m <sup>3</sup>	Consumo de gás natural - consumo total de GN (somatório do consumo no aquecimento de água para o banho e para o uso na torneira).
Cons_GN_Predio	m <sup>3</sup>	Consumo de gás natural do prédio - consumo total de GN do prédio (somatório do consumo no aquecimento de água para o banho e para o uso na torneira).
N_Aptos_A	-	Número de apartamentos com o perfil A.
N_Aptos_B	-	Número de apartamentos com o perfil B.
N_Aptos_C	-	Número de apartamentos com o perfil C.
N_Aptos_D	-	Número de apartamentos com o perfil D.
Desp_GN_Individual	R\$/mo	Despesa mensal de gás natural individual - esta despesa é o resultado da multiplicação do consumo de GN por apartamento e do número de apartamentos com os perfis A, B, C ou D.
Desp_GN	R\$/mo	Despesa mensal de gás natural.
Faixa1 até Faixa11	R\$/((m <sup>3</sup> )mo)	Representa o preço do gás natural praticado pela empresa distribuidora local. Já incluídos o ICMS (12%), PIS (1,65%) e o COFINS (7,6%).
Reajuste_Precos_GN	%	Reajuste do preço do gás natural - percentual de aumento no preço do GN.
Desp_GN_Total_Individual	R\$/mo	Despesa mensal de gás natural total do individual - esta despesa é o somatório do resultado da multiplicação do consumo de gás natural por apartamento e do número de apartamentos com os perfis A, B, C ou D.
Desp_GN_Predio	R\$/mo	Despesa de gás natural do prédio - despesa total de GN do prédio (somatório da despesa no aquecimento de água para o banho e para o uso na torneira).
Dif_Desps_GN	R\$/mo	Diferença nas despesas com o uso do gás natural - este valor representa a diferença nas despesas com o medidor de GN individualizado e com o medidor centralizado.
Calc_Desc_Desps_GN	%	Cálculo do desconto nas despesas de gás natural - cálculo da porcentagem das despesas de cada perfil.

Desc_Desp_GN_Individual	R\$/mo	Desconto nas despesas de gás natural individual - representa qual seria o desconto para cada perfil na despesa mensal de GN, caso fosse adotado o medidor centralizado de GN.
Meta_Desp_GN_A	R\$/mo	Meta de despesa mensal de GN para o perfil A.
Meta_Desp_GN_B	R\$/mo	Meta de despesa mensal de GN para o perfil B.
Meta_Desp_GN_C	R\$/mo	Meta de despesa mensal de GN para o perfil C.
Meta_Desp_GN_D	R\$/mo	Meta de despesa mensal de GN para o perfil D.
Excedente_Desp_GN	%	Excedente na despesa mensal de gás natural - conforme as metas mensais de despesa com GN para os quatros perfis considerados (A, B, C e D) haverá excedente ou não.
Custo_Cons_GN	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de gás natural - sua influência se dará no consumo pelo aquecedor a GN, utilizado para o banho e para o uso na torneira.
Controle_Custo_GN	-	Controle do custo das despesas mensais no consumo de gás natural - sinaliza valor "1" se a influência do custo das despesas mensais no consumo de GN estiver ativa, ou "0" se estiver inativa.

### 3.4.2 Módulo Econômico

O módulo econômico tem por objetivo avaliar o resultado econômico (fluxo de caixa, valor presente líquido, taxa interna de retorno, tempo de retorno do investimento, etc.) do modelo de simulação, sob determinados parâmetros de operação e investimento, que por sua vez faz parte de uma estratégia definida pelo módulo tomada de decisão. Este módulo visa, também, realizar a avaliação financeira do investimento (análise de riscos, competitividade da alternativa, etc.) para um determinado horizonte de simulação.

Neste trabalho, o fator principal para a avaliação financeira é o fluxo de caixa, sob a visão do cliente, analisando se a alternativa poderá ou não ser implementada, visando a sua longevidade e a maximização dos fluxos de caixa gerados por suas operações.

Deste modo, o problema da análise de viabilidade do uso do GN, em prédios residenciais para o aquecimento de água, pode ser formulado como um problema de maximização do Valor Presente Líquido (VPL), como definido:

$$Máx.(VPL) = Máx.(S) - I \quad (3.21)$$

Deve-se observar que “S” é calculado pela diferença das Despesas Operacionais de EE e de GN, apresentadas no módulo técnico desse mesmo capítulo e, “I” o investimento inicial da alternativa, sendo assim:

$$S = Dop_{EE} - Dop_{GN} \quad (3.22)$$

A maximização do VPL ocorre pela maximização das diferenças entre as despesas ao longo do horizonte de simulação, ou seja, a maximização de “S” é diretamente proporcional aos aumentos na tarifa de EE e inversamente proporcional aos aumentos no preço do GN.

Sendo assim, os principais fatores que influenciam a avaliação econômico-financeira da alternativa proposta são apresentados pelo DEF, ilustrado na Figura 3.9, implementado no *software Powersim 2003* [59], representando o processo de obtenção do fluxo de caixa líquido mensal da operação.

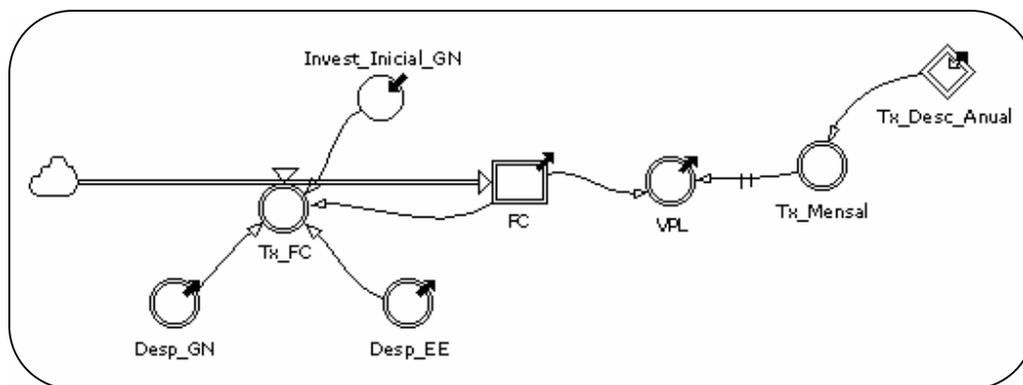


Figura 3.9 – DEF representativo da análise econômico-financeira na utilização do gás natural em prédios residenciais

Sendo assim, as variáveis representadas pelo diagrama ilustrado pela Figura 3.9, estão definidas na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Variáveis do DEF responsáveis pela análise econômico-financeira na utilização do gás natural em prédios residenciais

Variável	Unidade	Descrição
Invest_Inicial_GN	R\$/mo	Investimento inicial na utilização do gás natural - custo na aquisição do equipamento (aquecedor a GN).
Desp_GN	R\$/mo	Despesa mensal de gás natural.
Desp_EE	R\$/mo	Despesa mensal de energia elétrica.
Tx_FC	R\$/mo	Taxa fluxo de caixa - taxa de entrada da variável fluxo de caixa.
FC	R\$	Fluxo de caixa.
VPL	R\$	Valor presente líquido.
Tx_Mensal	%	Taxa mensal - taxa de desconto ao mês.
Tx_Desc_Anual	%	Taxa de desconto anual - ou taxa mínima de atratividade (TMA).

### 3.4.3 Módulo Tomada de Decisão

No processo de tomada de decisão, a alternativa mais viável deve ser escolhida após a verificação do estudo de todas as variáveis que compõem o sistema, sendo que o número e as características dessas alternativas podem variar dependendo do problema.

No entanto, devem-se conhecer métodos que permitam identificar alternativas de ação, pois neste processo não pode haver incertezas. Sendo assim, considerou-se dois métodos ou critérios tradicionais: o método do Valor Presente Líquido (VPL) e o método da Taxa Interna de Retorno (TIR).

Além destes dois, o critério de *Payback* (PB) também é utilizado. O PB é um método não exato, no qual auxilia na decisão quando utilizado em conjunto com os métodos do VPL e TIR, indicando o tempo mínimo possível para o retorno do investimento.

É importante ressaltar que a ferramenta de apoio aos novos clientes que pretendem utilizar o GN em alternativa à EE, no aquecimento de água em prédios residenciais, conta com algumas flexibilizações permitindo ao gestor a tomada de decisão segundo o seu perfil.

A primeira flexibilização envolve duas variáveis (*Custo\_Cons\_EE* e *Custo\_Cons\_GN*), ilustradas pela Figura 3.10.

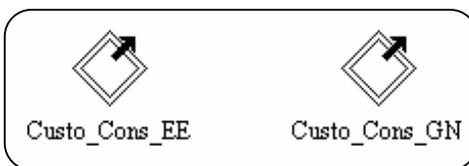


Figura 3.10 – Representação das variáveis de influência do custo no consumo de energia elétrica e de gás natural

As variáveis apresentadas pela Figura 3.10 estão descritas na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Variáveis responsáveis pela influência do custo no consumo de energia elétrica e de gás natural

<b>Variável</b>	<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
Custo_Cons_EE	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de energia elétrica - sua influência se dará no consumo pelo chuveiro elétrico e pela torneira elétrica.
Custo_Cons_GN	%	Influência do custo das despesas mensais no consumo de gás natural - sua influência se dará no consumo pelo aquecedor a GN, utilizado para o banho e para o uso na torneira.

Estas duas variáveis possibilitam ao cliente a visualização da influência do custo da despesa mensal de EE ou de GN, no consumo pelo chuveiro elétrico e pela torneira elétrica, quando utilizada a EE, e pelo aquecedor a gás para o banho e para o uso na torneira, quando utilizado o GN, caso estejam ativas as ações destas variáveis (*Custo\_Cons\_EE* e *Custo\_Cons\_GN*) no simulador de consumo da ferramenta proposta.

O gráfico representativo do comportamento da função destas duas variáveis, ilustrado pela Figura 3.11, evidencia que quanto maior for o excedente da despesa mensal de energia elétrica ou de gás natural, conforme as metas de despesas estabelecidas para cada perfil “A”, “B”, “C” e “D” (descritos no capítulo seguinte), maior será a tendência de reduzir o consumo mensal dos energéticos.

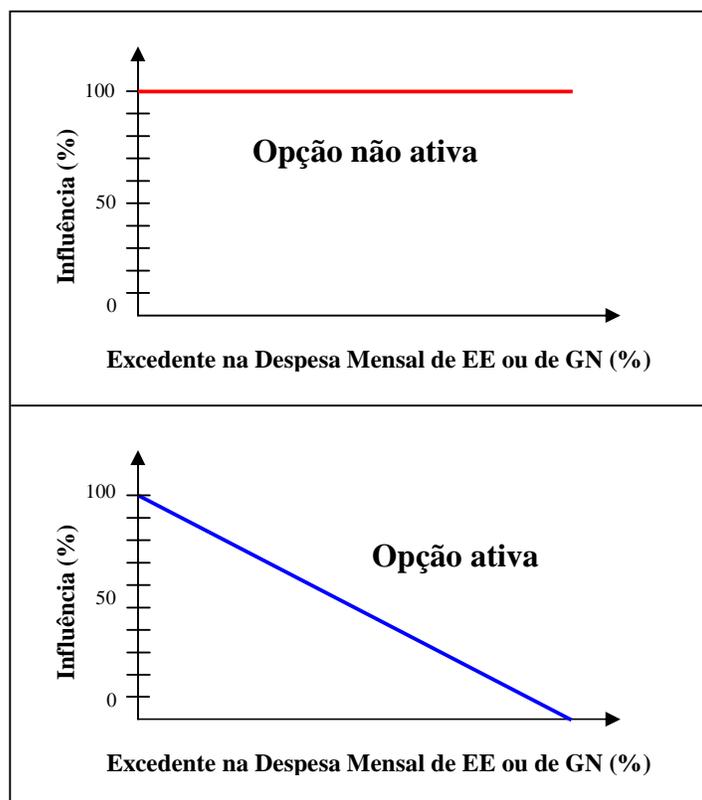


Figura 3.11 – Gráfico representativo do comportamento da função das variáveis de influência do custo no consumo de energia elétrica ou de gás natural

Por conseguinte, a outra flexibilização do modelo permite ao cliente comparar a despesa mensal de gás natural quando adotada a medição individual ou a medição centralizada, ou seja, poder quantificar quais seriam os reais benefícios, para cada cliente, na escolha destes tipos de medidores de GN. Este estudo se justifica pelo fato de que o preço do  $m^3$  de GN, aplicado ao estado de Mato Grosso do Sul, é regressivo (conforme Anexo 2).

Esta flexibilização envolve as variáveis ilustradas pela Figura 3.12.

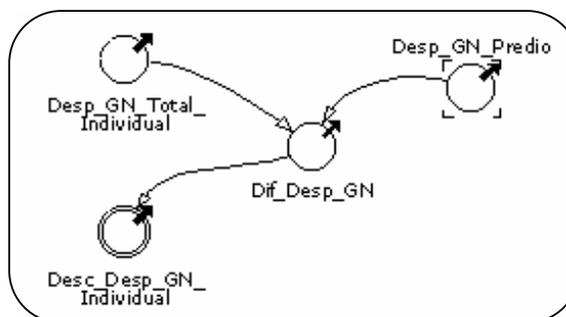


Figura 3.12 – Representação das variáveis que permitem ao cliente comparar a despesa mensal de gás natural quando adotada a medição individual ou centralizada

As variáveis apresentadas pela Figura 3.12 estão descritas na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Variáveis responsáveis pela comparação da despesa mensal de gás natural quando adotada a medição individual ou centralizada

Variável	Unidade	Descrição
Desp_GN_Total_Individual	R\$/mo	Despesa mensal de gás natural total do individual - esta despesa é o somatório do resultado da multiplicação do consumo de gás natural por apartamento e do número de apartamentos com os perfis A, B, C ou D.
Desp_GN_Predio	R\$/mo	Despesa de gás natural do prédio - despesa total de GN do prédio (somatório da despesa no aquecimento de água para o banho e para o uso na torneira).
Dif_Desp_GN	R\$/mo	Diferença nas despesas com o uso do gás natural - este valor representa a diferença nas despesas com o medidor de GN individualizado e com o medidor centralizado.
Desc_Desp_GN_Individual	R\$/mo	Desconto nas despesas de gás natural individual - representa qual seria o desconto para cada perfil na despesa mensal de GN, caso fosse adotado o medidor centralizado de GN.

Conforme o exposto, estas flexibilizações do modelo proposto representam a percepção do cliente, visando uma maior economia ao se utilizar a energia elétrica ou o gás natural, ou seja, um melhor resultado econômico da análise de viabilidade da alternativa em questão.

### 3.4.3.1 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

Este método é considerado um método exato, que consiste em trazer para o tempo presente, após a definição prévia da taxa mínima de atratividade, os valores obtidos a partir de um determinado fluxo de caixa.

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é o retorno mínimo exigido a uma determinada taxa, determinando qual a taxa de juros a ser utilizada, sinalizando ao cliente optar ou não pelo investimento. Assim, a TMA deve ser, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco [61], como, por exemplo, a caderneta de poupança.

Deste modo, pode-se observar que o VPL e a TMA são inversamente proporcionais, ou seja, à medida que a taxa mínima de atratividade se eleva, o valor presente líquido diminui.

Esta relação pode ser verificada pela expressão (3.23), de cálculo do valor presente líquido [61]:

$$VPL = \sum FC(1+i)^{-n} \quad (3.23)$$

Onde:

- $FC$     fluxo de caixa, em R\$;
- $i$        taxa de juros, em %;
- $n$        número de períodos, em meses.

O método do VPL possui critérios bastante simples para a tomada de decisão. Pode ser considerado aceito todo investimento que apresente um VPL maior ou igual a zero (quando igual a zero, deve-se analisar se os riscos são compensatórios). No entanto, alternativas com VPL negativo, indicam que os valores referentes às entradas são menores que os das saídas, revelando ser economicamente inviável o investimento [62].

Conseqüentemente, considerando que as alternativas de investimento são analisadas a partir de uma mesma TMA, a melhor opção será a que apresentar o maior valor presente líquido, ou seja, quanto maior o VPL mais atraente será o investimento.

### 3.4.3.2 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

O método de análise pela taxa interna de retorno, também é considerado um método exato, assim como o valor presente líquido. A TIR é obtida a partir da análise projetiva do fluxo de caixa, sendo definida como a taxa de juros que torna nulo o VPL da alternativa analisada, ou seja, a taxa de juros onde as receitas e as despesas se igualam [61].

Desta forma, esta relação de cálculo da taxa interna de retorno, pode ser verificada pela expressão (3.24) [61].

$$TIR = \sum FC(1+i)^{-n} = 0 \quad (3.24)$$

Onde:

- $FC$  fluxo de caixa, em R\$;
- $i$  taxa de juros, em %;
- $n$  número de períodos, em meses.

No processo de tomada de decisão, após o cálculo da TIR, deve ser feita a comparação com a taxa mínima de atratividade, a fim de avaliar a aceitação ou não da alternativa. Os investimentos com TIR maior que a TMA são considerados rentáveis e são passíveis de análise [61]. Conseqüentemente, conclui-se que quanto maior for a taxa interna de retorno da alternativa em análise, maior será o retorno esperado do capital.

Deste modo, pode-se notar que a TMA modifica completamente as conclusões da viabilidade para um determinado investimento, pois segundo alguns autores como Hummel [62], se a TIR for menor do que a TMA, a alternativa deve ser recusada. No entanto, pequenos investimentos poderão ser aceitos se a TIR apresentar retorno não negativo de rentabilidade.

Na prática, administradores financeiros e empresários preferem a TIR ao VPL, pois as taxas de juros são mais fáceis de ser analisadas quando comparadas com um outra taxa (TIR) do que um valor monetário (VPL).

### 3.4.3.3 Método do *Payback* (PB)

O método do *Payback* difere-se dos outros apresentados por ser um método não exato. *Payback* quer dizer retorno do investimento, ou seja, quanto tempo será necessário para que o capital investido inicialmente seja recuperado.

Deste modo, o PB pode ser calculado conforme a expressão (3.25).

$$PB = \frac{Inv.Inicial}{\sum FC_{Ano}} \quad (3.25)$$

Onde:

*Inv.Inicial* custo do investimento inicial, em R\$;

*FC* fluxo de caixa ao ano, em R\$;

Para o cliente que leva em consideração apenas o tempo mínimo possível na recuperação do capital, este é um ótimo método. No entanto, como dito anteriormente, o PB será utilizado juntamente com os métodos do VPL e TIR no processo de tomada de decisão, pois o método não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo e nem os juros envolvidos, fatores bastante relevantes ao problema de modelagem proposto pelo trabalho.

### 3.5 Interface do Modelo Proposto

Conforme mencionado, a implementação do modelo proposto de análise de viabilidade econômico-financeira na utilização do gás natural em prédios residenciais, para o aquecimento de água em alternativa à energia elétrica, foi realizada utilizando o *software Powersim 2003* [59], um ambiente voltado ao desenvolvimento de modelos baseados na técnica de Dinâmica de Sistemas.

Os dados de entrada do modelo são armazenados em uma planilha do *software Microsoft Excel* [63], que está conectada ao *software Powersim 2003* [59]. No entanto, a maioria destes dados pode ser alterada a qualquer momento durante a simulação, através dos controles disponíveis, facilitando a análise de sensibilidade a determinados parâmetros que compõem o modelo.

A Figura 3.13 ilustra o painel de controle da ferramenta proposta.

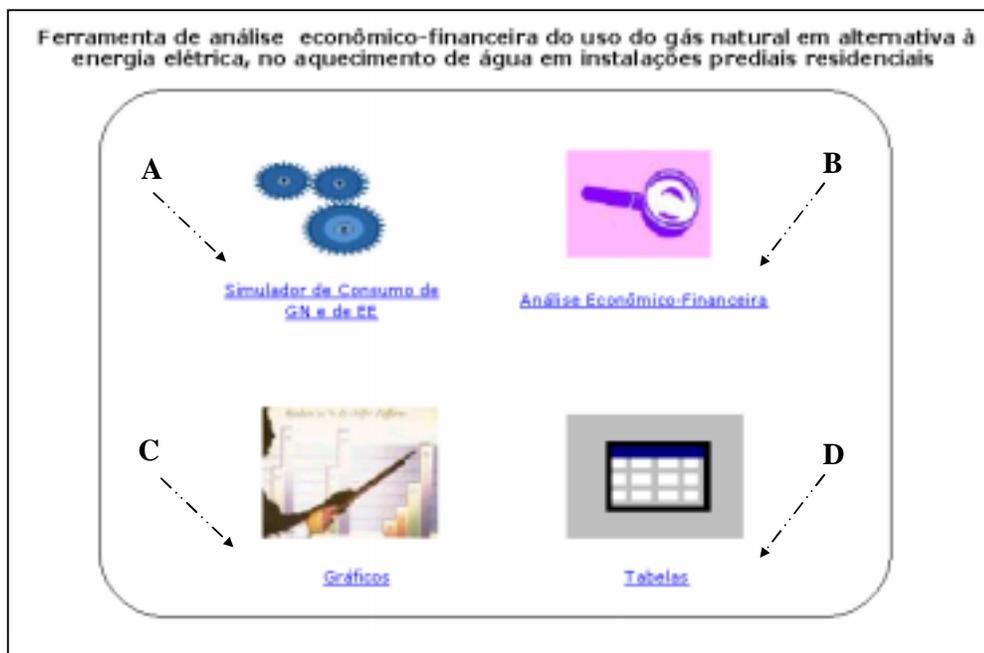


Figura 3.13 – Interface do painel de controle da ferramenta proposta

Nesta figura, as letras significam:

- A) simulador de consumo de gás natural e de energia elétrica;
- B) variáveis de entrada para a análise econômico-financeira do uso do GN em alternativa à energia elétrica;
- C) gráficos; e
- D) tabelas.

É importante ressaltar, que o modelo implementado foi dimensionado, possibilitando a simulação simultânea para diferentes perfis (A, B, C e D), conforme será visto no capítulo 4. A Figura 3.14 ilustra uma parte da ferramenta, na qual tem-se a simulação do consumo mensal de GN e EE para o perfil “A”. O *layout* do simulador para os outros três perfis (B, C, e D) é o mesmo.

**Simulador de Consumo de Gás Natural e de Energia Elétrica**

**Perfil A**

**Temperatura Desejada da Água**



Número de Aptos

Número de Moradores

Número de Banhos/Dia

**Gás Natural**

**Vazão da Água para o Aquecedor a GN**

Banho

Tomeira

**Tempo de Uso Diário**

Banho

Tomeira

**Energia Elétrica**

**Vazão da Água**

Chuveiro Elétrico

Tomeira Elétrica

**Tempo de Uso Diário**

Banho

Tomeira

Qual a despesa máxima, em R\$, com o uso do GN?

Qual a despesa máxima, em R\$, com o uso da EE?

Influência do Custo no Consumo de GN

Influência do Custo no Consumo de EE

Figura 3.14 – Interface do simulador de consumo de gás natural e de energia elétrica da ferramenta proposta, para o perfil “A”

### 3.6 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os aspectos relevantes do desenvolvimento do modelo proposto, a partir da técnica de Dinâmica de Sistemas, de forma a ser aplicável na avaliação econômico-financeira proposta, servindo de base à aprendizagem a partir da representação e organização dos elementos do modelo como um todo.

Como visto, o modelo para análise econômico-financeira foi estruturado em três módulos, dando origem a uma ferramenta de apoio aos novos clientes que desejam utilizar o gás natural em instalações prediais residenciais.

O modelo desenvolvido utiliza métodos exatos e não-exatos, no processo de tomada de decisão, ou seja, estes serão usados para avaliar o comportamento do sistema levando em conta diversos cenários, descritos no próximo capítulo, permitindo avaliar a sensibilidade do investimento.

## **CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA E RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO**

### **4.1 Introdução**

Neste capítulo será feita a apresentação do estudo de caso, objetivando avaliar a influência de diversos fatores no contexto da tomada de decisão do uso do gás natural no setor predial residencial.

### **4.2 Metodologia**

A metodologia do estudo de caso compreende as seguintes etapas:

- Inicialmente, adotou-se como base um edifício recém entregue, de uma grande construtora local de prédios residenciais, de 23 andares (92 apartamentos), onde cada apartamento possui uma área útil de 156 m<sup>2</sup>, com todas as instalações necessárias prontas para a utilização do gás natural, restando apenas a aquisição do equipamento (aquecedor a gás natural);
- A seguir, foram levantadas as características relativas ao consumo dos usuários, apresentadas no módulo técnico do capítulo anterior e, também no mesmo capítulo, os parâmetros que exercem influência na análise econômica, apresentados pelo módulo econômico, utilizando como energético a energia elétrica e o gás natural;
- Na seqüência, após o levantamento dos fatores descritos acima, foram estudadas quatro alternativas de tipos possíveis de clientes, ou seja, quatro perfis considerando diferentes características para cada um deles.
  1. **Perfil A:** exigência de alto nível de conforto;
  2. **Perfil B:** nível de conforto moderado;
  3. **Perfil C:** nível de conforto normal;
  4. **Perfil D:** pouca exigência no nível de conforto.
- Para se proceder a análise econômico-financeira, foram utilizados os métodos exatos do Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno e o método não exato do *Payback*;

- Logo após, foi realizada a análise de sensibilidade, objetivando analisar até que ponto o investimento ainda se mantém atrativo, variando entre +20% e - 20% o parâmetro investimento inicial, ou seja, R\$ 1.500,00 (I), R\$ 1.800,00 (II) e R\$ 1.200,00 (III), respectivamente.

### 4.3 Configuração do Caso Base

A Tabela 4.1 apresenta os valores que foram fixados para os parâmetros necessários na configuração do caso base, conforme os quatro perfis pré-estabelecidos (A, B, C e D), ou seja, as características relativas ao consumo dos usuários, baseadas em um comparativo de custos entre o GN e a EE apresentado por Melo [34].

Tabela 4.1 – Parâmetros iniciais fixados para o caso base

Fatores que influenciam na quantidade consumida (kWh/m <sup>3</sup> )	Perfil dos Consumidores			
	A	B	C	D
Temperatura adequada (°C)	36	33	30	27
Número de moradores	4	4	3	2
Número de banhos por dia	3	3	2	1
Vazão do chuveiro elétrico (l/min)	10	9	8	7
Tempo de banho (min/dia), quando utilizado o chuveiro elétrico	30	20	15	10
Vazão da torneira elétrica (l/min)	5	4	4	3
Tempo de uso da torneira elétrica (min/dia)	90	60	45	45
Vazão do aquecedor (l/min), quando utilizado para banho	10	9	8	7
Tempo de banho (min/dia), quando utilizado o aquecedor a gás natural	30	20	15	10
Vazão do aquecedor (l/min), quando utilizado para torneira	5	4	4	3
Tempo de uso da torneira (min/dia), quando utilizado o aquecedor a gás natural	90	60	45	45

É importante ressaltar que na Tabela 4.1, para o perfil “C”, os valores correspondentes aos fatores que influenciam na quantidade consumida, tanto de kWh quanto de m<sup>3</sup>, foram obtidos através de uma pesquisa realizada por Melo [10], na cidade de São Paulo, na qual o autor identifica por meio de formulários dirigidos a população, os valores médios dos hábitos

de consumo residencial, relacionados ao uso de água aquecida para o banho ou para o uso na torneira. Por conseguinte, a partir destes resultados, foram estimados os valores fixados para os perfis “A”, “B” e “D”.

No entanto, não só foram analisados os fatores que influenciam no consumo, mas também aqueles que podem alterar o comportamento financeiro da alternativa analisada, como:

- Tarifa de energia elétrica: baseada na Resolução Homologatória da ANEEL, nº 74, de 06/04/2005, para o período de 04/2005 a 04/2006 (Anexo 1), onde foi adotado o valor da tarifa convencional do subgrupo B1 Residencial;
- Preço do gás natural: baseado na Portaria nº 44, de 29/08/2005 (Anexo 2). A tabela de preços para o GN aplicada ao estado de MS é regressiva, ou seja, quanto maior o consumo menor torna-se o preço por m<sup>3</sup> de gás;
- Investimento Inicial: adotou-se a o valor de R\$ 1.500,00 (um mil e quinhentos reais) como investimento necessário para a utilização do gás natural;
- Fixou-se um valor de 12% a.a. para a Taxa Mínima de Atratividade (TMA);
- E, um horizonte de simulação de 3 anos.

#### **4.4 Construção dos Cenários**

Frente a um processo de decisão sob incerteza, torna-se necessário analisar as alternativas de evolução da tarifa de energia elétrica e do preço do gás natural, para uma maior confiabilidade na tomada de decisão. Logo, foram criados seis cenários de evolução do preço e da tarifa para os setores de gás natural e energia elétrica.

##### **4.4.1 Cenário de Referência**

Neste cenário, supõe-se que, para o horizonte de simulação de três anos, a tarifa de energia elétrica e o preço do gás natural não sofram elevações, ou seja, permanecerão constantes.

Considerando que o investimento inicial necessário seja de R\$ 1.500,00 (valor fixado anteriormente), obteve-se a partir da simulação para os quatro perfis (A, B, C e D), diferentes valores no retorno do investimento.

Sendo assim, a partir da comparação da análise econômico-financeira dos perfis é possível concluir que, com base na Taxa Interna de Retorno (TIR), conforme ilustra a Figura 4.1, o perfil “A” apresenta um TIR superior a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) fixada. No entanto, nota-se que para os perfis “B” e “C” existe uma atratividade, mas com valores menores para a TIR.

Nesta situação é importante lembrar que ao se proceder a análise de investimento, a melhor alternativa do ponto de vista deste método, é a que apresentar a maior TIR e superior ao valor da TMA. Assim, somente deverá ser recusado o investimento se a TIR apresentar um valor negativo, o que representa que a alternativa não é viável dentro do horizonte considerado.

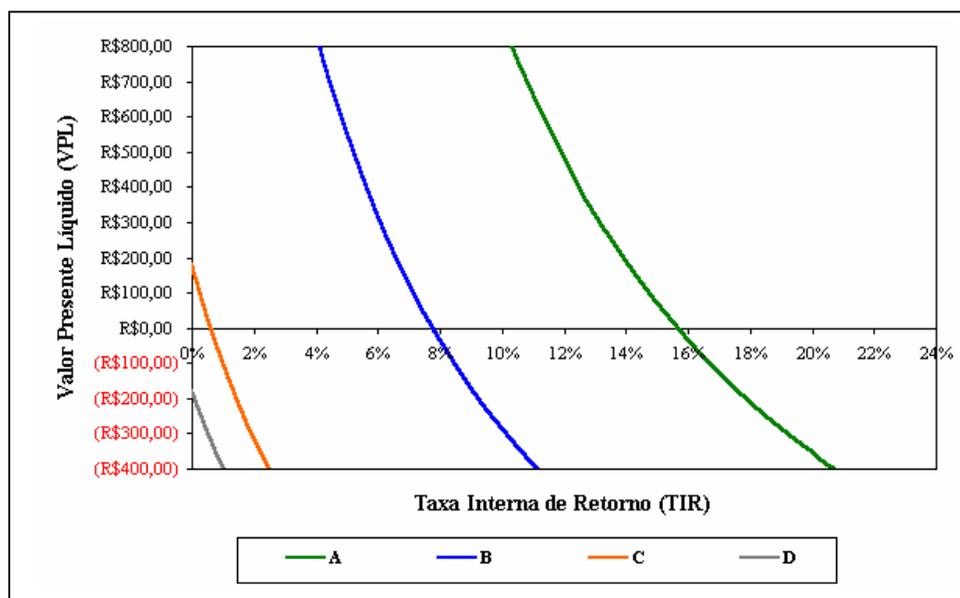


Figura 4.1 – Resultado do cenário de referência, com um investimento inicial de R\$ 1.500,00

Ademais, a Figura 4.1 mostra a variação do Valor Presente Líquido (VPL) para os perfis simulados. Da mesma forma, observa-se com base neste método do VPL, que o perfil “A” apresenta um valor 278% superior ao do perfil “B”, confirmando a sua atratividade, analisado por um método diferente do utilizado anteriormente.

Com referência aos perfis “C” e “D”, às entradas do fluxo de caixa não foram suficientemente significativas, a fim de resultarem em valores não-negativos para o valor presente líquido, mesmo o perfil “C” apresentando TIR maior que zero.

De uma forma geral, para este cenário que considerou constante a tarifa de energia elétrica e o preço do gás natural, obteve-se os resultados para os métodos do VPL, TIR e *Payback*, ilustrados pela Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados obtidos a partir dos métodos de análise econômico-financeira para o cenário de referência

<b>Perfil</b>	<b>VPL (R\$)</b>	<b>TIR (%)</b>	<b><i>Payback</i> (meses)</b>
<b>A</b>	6.279,03	15,69	5
<b>B</b>	2.251,06	7,78	12
<b>C</b>	-62,48	0,62	31
<b>D</b>	-358,27	-0,67	40

Utilizando-se os resultados da análise econômico-financeira discutidos anteriormente, no qual os investimentos para os perfis “C” e “D” foram recusados, verifica-se para o perfil “A” e o “B”, através da Tabela 4.2, que a diferença no tempo de retorno de investimento (*Payback*), é bem significativa.

Assim, “A” e “B” apresentam *Payback* (PB), de 5 e 12 meses respectivamente, valores relativamente pequenos se for levado em conta o horizonte de simulação considerado. No entanto, como todo investimento envolve risco, quanto mais rápido for o retorno do que foi investido, mais seguro o cliente se sentirá.

#### 4.4.1.1 Análise de Sensibilidade

Dentre os diversos fatores presentes na análise de viabilidade econômico-financeira, verificou-se a influência do custo do investimento inicial. Deste modo, pode-se verificar até que ponto o investimento ainda se mantém atrativo, variando entre +20% e -20% o parâmetro de entrada citado acima. Os valores utilizados nesta análise serão de R\$ 1.500,00 (I), R\$ 1.800,00 (II) e R\$ 1.200,00 (III), respectivamente.

Para os perfis “A” e “B” analisados, o efeito sobre o VPL não evidenciou que os investimentos deixaram de ser atrativos (valores sempre positivos), conforme apresentado na Figura 4.2. O valor do VPL para o perfil “D” nos três casos manteve-se na faixa abaixo de zero (negativo), demonstrando a inviabilidade da sua escolha.

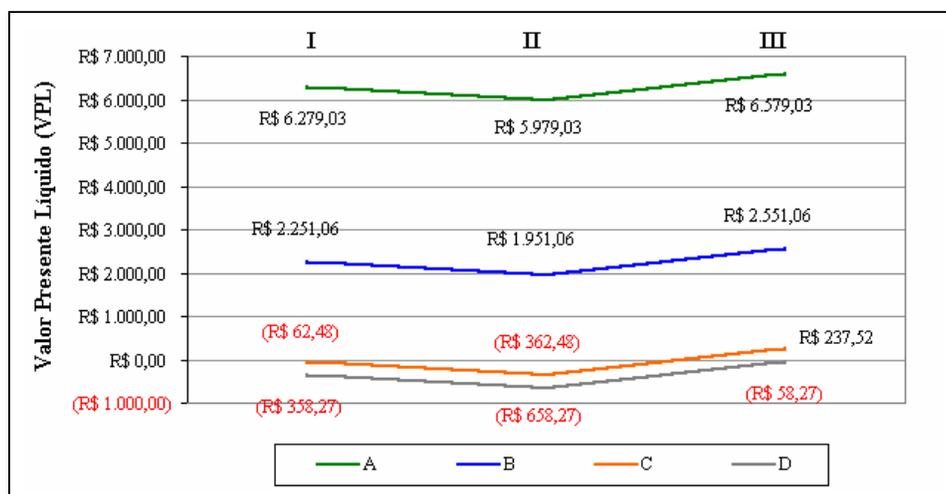


Figura 4.2 – Resultado da análise de sensibilidade do cenário de referência, utilizando o método do valor presente líquido

O perfil “C” apresenta uma exceção para a situação do custo do investimento inicial igual a R\$ 1.200,00. O VPL que antes resultava em um valor menor que zero (R\$ -62,48), neste caso apresenta-se com um valor positivo de R\$ 237,52, ou seja, denota uma situação de atratividade de investimento.

Foram avaliados também os efeitos da alteração no parâmetro custo do investimento inicial, sobre o comportamento da TIR e do *Payback* para os perfis considerados, apresentados na Figura 4.3.

Sendo assim, nesta simulação o perfil “A” manteve o valor da TIR superior a TMA nas três opções consideradas, sendo que em um dos casos (III) é 60% superior a TMA fixada de 12%. Para este mesmo perfil, o PB sofreu pequenas variações no tempo de retorno, ou seja, acréscimo e redução de 1 mês respectivamente para os três valores de investimentos iniciais considerados.

Com relação ao perfil “B”, a TIR variou aproximadamente -21,5% (II) e +30% (III) em seus resultados, onde em um dos casos (III), se aproximou do limite de atratividade de 12%. Da mesma forma, o PB sofreu significativas alterações no tempo de retorno, de 12 meses para um investimento inicial de R\$ 1.500,00 para 8 meses com um custo de R\$ 1.200,00.

Para o perfil “C”, considerando apenas o resultado para o caso III (único com valor positivo do VPL, como visto anteriormente) a TIR e o PB correspondentes são de 1,92% e de 25 meses, ou seja, valores relativamente pequenos quando comparados com os dos perfis “A”

e “B”. Nesta situação, o investimento pode ser aceito, apresentando uma taxa de retorno menor, embora positiva.

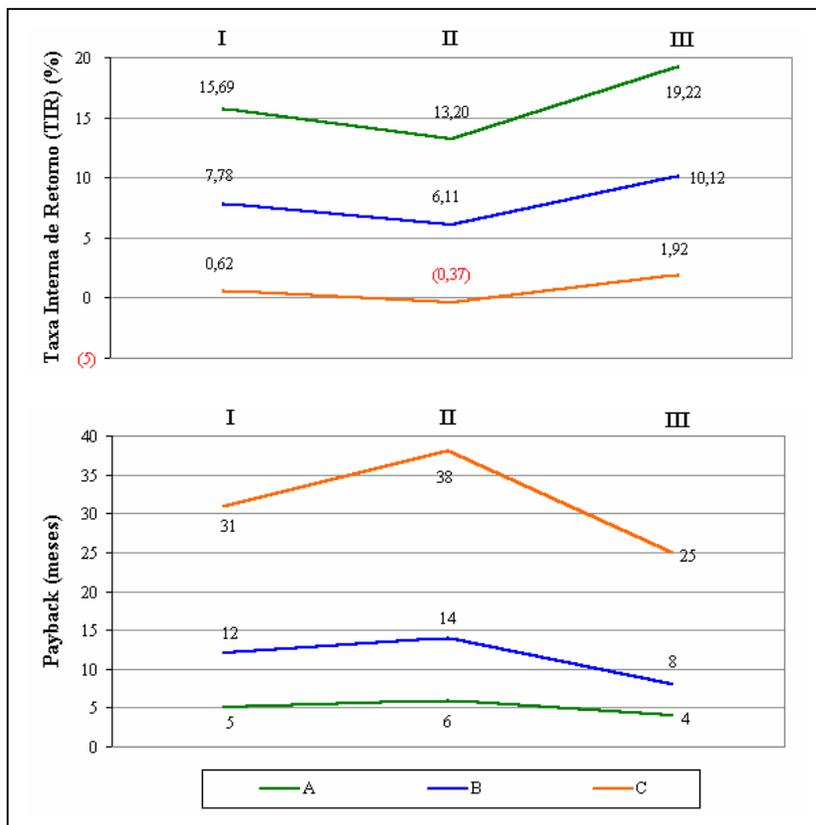


Figura 4.3 – Resultado da análise de sensibilidade do cenário de referência, utilizando o método da taxa interna de retorno e do *payback*

A partir desses resultados, pode-se observar que pequenas reduções no parâmetro investimento inicial, podem diminuir o risco pela aplicação do capital e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de implementação pelo cliente.

#### 4.4.2 Cenários de Evolução Tarifária

Tomando como base o cenário de referência, discutido no item 4.4.1, foram criados seis cenários, conforme descritos na Tabela 4.3, com a finalidade de se verificar o comportamento da viabilidade destes cenários, na hipótese de evolução da tarifa de energia elétrica e do preço do gás natural, durante o período considerado de três anos.

Todos os cenários consistem em avaliar a viabilidade econômico-financeira da utilização do gás natural no aquecimento de água em prédios residenciais, em alternativa à energia elétrica. Desta forma, no primeiro cenário procurou-se quantificar quais seriam os efeitos sobre a viabilidade caso o preço do gás natural sofressem um aumento de 5% ao ano. Ademais, com o mesmo objetivo, no segundo cenário a análise é feita com a hipótese de que o gás tenha um aumento de 10% ao ano, para o período de simulação considerado.

Tabela 4.3 – Cenários para análise de comportamento

<b>Cenários</b>	<b>Condições</b>
<b>1</b>	Aumento de 5% a.a. no valor do preço do gás natural.
<b>2</b>	Aumento de 10% a.a. no valor do preço do gás natural
<b>3</b>	Decréscimo de 5% a.a. no valor do preço do gás natural
<b>4</b>	Decréscimo de 10% a.a. no valor do preço do gás natural
<b>5</b>	Aumento de 10% a.a. no valor da tarifa de energia elétrica
<b>6</b>	Aumento de 20% a.a. no valor da tarifa de energia elétrica

Obs: Os acréscimos ou decréscimos no preço do gás natural e na tarifa de energia elétrica são baseados no valor utilizado para o cenário de referência.

Através da terceira e quarta hipóteses (cenários 3 e 4), serão analisados como decréscimos de 5 e 10% ao ano no preço do gás, representariam ao fim do horizonte de simulação, a recuperação do capital investido e, conseqüentemente, a atratividade do investimento.

Para o término das simulações, considerou-se um aumento de 10 e 20% ao ano para a tarifa de energia elétrica, representando os cenários 5 e 6 respectivamente. Deve-se ressaltar que os acréscimos nestas tarifas apresentaram uma maior magnitude de elevação, devido aos aumentos ocorridos ao longo dos últimos anos no setor energético brasileiro.

a maior magnitude de elevação da tarifa, característico nestes dois cenários, se justifica devido aos aumentos ocorridos ao longo dos últimos anos no setor energético brasileiro.

Para todos os cenários descritos na Tabela 4.3, será apresentada a análise de sensibilidade do parâmetro investimento inicial, variando entre +20% e – 20% o seu custo, ou seja, R\$ 1.500,00 (I), R\$ 1.800,00 (II) e R\$ 1.200,00 (III), respectivamente, da mesma forma que foi feita para o cenário de referência.

Sendo assim, baseado inicialmente no método do Valor Presente Líquido (VPL), as Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7, discutidas a seguir, apresentam os resultados obtidos a partir da simulação dos quatro perfis (A, B, C e D) para os seis cenários considerados.

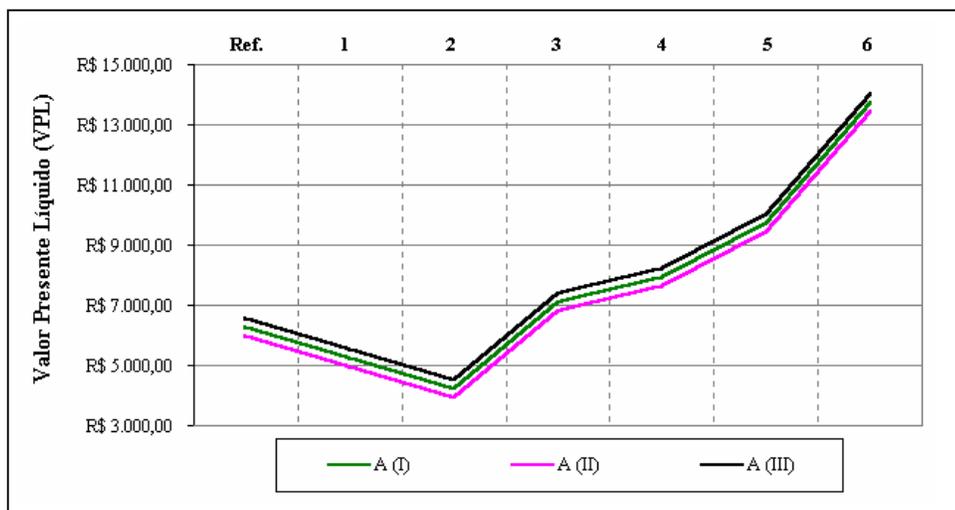


Figura 4.4 – Resultado para o perfil “A”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido

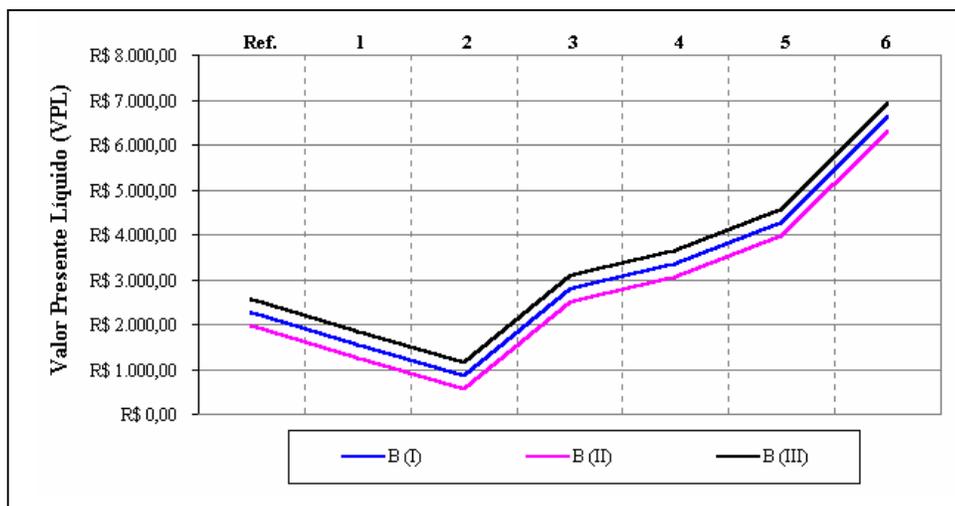


Figura 4.5 – Resultado para o perfil “B”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido

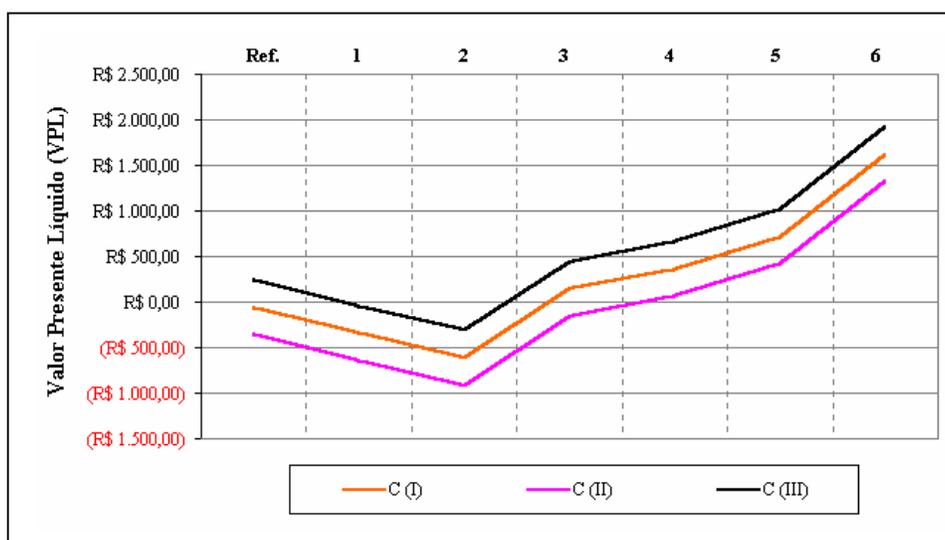


Figura 4.6 – Resultado para o perfil “C”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido

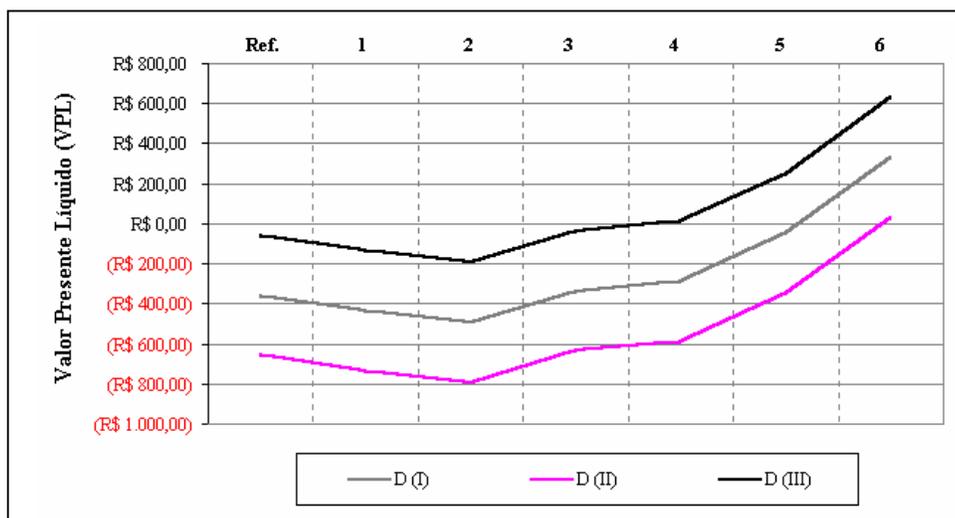


Figura 4.7 – Resultado para o perfil “D”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando o método do valor presente líquido

A análise dos resultados revela que, para o primeiro cenário apenas os investimentos para os perfis “A” (Figura 4.4) e “B” (Figura 4.5) são indicados, por apresentarem um valor presente líquido positivo, ou seja, o perfil “A” com um VPL de R\$ 5.233,29, e o perfil “B” com um valor de R\$ 1.530,47, representando uma diferença de 342%.

Na análise de sensibilidade do parâmetro investimento inicial (I, II e III), houve uma significativa variação do VPL para o perfil “B” (Figura 4.5), primeiramente com uma defasagem de 19,6% (II), seguido de um acréscimo de 48,8% (III), denotando um aumento na atratividade para este investimento.

Nota-se que, para o segundo cenário, o resultado do VPL segue a mesma tendência do primeiro, ou seja, apenas os investimentos para os perfis “A” (Figura 4.4) e “B” (Figura 4.5) são aceitos. Para o perfil “A”, houve um acréscimo seguido de um decréscimo de, aproximadamente, 7% nos resultados obtidos pela análise de sensibilidade para os três casos, não resultando em grandes alterações.

No entanto, com relação ao perfil “B”, esta variação no custo do investimento inicial ocasionou um maior impacto no VPL, apresentando uma redução e aumento de aproximadamente 35,6% (II) e 110,55% (III) respectivamente, ou seja, de R\$ 842,73 para R\$ 542,46, e logo após para R\$ 1.142,56.

Analisando o terceiro cenário, este apresenta uma diferença em relação aos cenários já apresentados. Caso haja um decréscimo de 5% a.a. no valor do preço do gás natural, o investimento com base no perfil “C” (Figura 4.6), que antes se apresentava totalmente inviável em todas as opções, agora sinaliza que existe a possibilidade de aplicação para o primeiro (R\$ 1.500,00) e terceiro casos (R\$ 1.200,00) do investimento inicial, ou seja, o VPL correspondente a estes dois parâmetros apresenta-se com valores positivos de R\$ 142,35 e R\$ 432,12 respectivamente.

Para os perfis “A” e “B” (Figuras 4.4 e 4.5), os resultados não apresentaram grandes variações. Para o “A” a média foi de 5% e para o “B” de 10% , em acréscimos e decréscimos nos casos II e III.

Com relação ao quarto cenário, supondo-se que possa haver um decréscimo de 10% a.a. no valor do preço do gás natural, os investimentos para os perfis “A”, “B” e “C” (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6) são viáveis em todas as opções, com menor ou maior risco pela aplicação do capital no investimento. Neste cenário, vale ressaltar que a variação média do VPL para estes três perfis é bastante significativa, em torno de 924% do perfil “C” para o “B”, e de 237% do “B” para o “A”.

Entretanto, uma outra opção para este cenário pode ser considerada viável, condição esta para o perfil “D” (Figura 4.7), que define o valor de R\$ 1.200,00 (III) para o investimento inicial, resultando em um VPL positivo.

Da mesma forma que um decréscimo de 10% a.a. no valor do preço do gás natural resulta na viabilidade dos perfis “A”, “B”, “C” e “D”, sendo que “D” somente em um caso, um aumento de 10% a.a. no valor da tarifa de energia elétrica, representado pelo quinto cenário, segue esta mesma tendência.

Torna-se importante ressaltar que, para este cenário, o resultado do VPL do perfil “D” (Figura 4.7), apresentou um considerável aumento em relação ao do quarto cenário (para o terceiro caso - R\$ 1.200,00), o valor presente líquido que antes era de R\$ 10,25 passou para R\$ 251,47, ou seja, evidencia que um aumento na tarifa de energia elétrica da ordem de 10% pode interferir na viabilidade das alternativas analisadas de uma maneira totalmente positiva.

Por conseguinte, pode-se notar que o comportamento dos resultados para o sexto cenário difere-se de todos os outros já descritos, pois em quase todos os investimentos para os perfis de “A” a “D” (Figuras 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7), denota-se a atratividade do investimento para o cliente. Deste modo, somente para o perfil “D” (Figura 4.7), no segundo caso da análise de sensibilidade (custo do investimento inicial de R\$ 1.800,00) que o investimento deve ser recusado por apresentar um VPL não-positivo.

Com o mesmo propósito de avaliar econômico-financeiramente o investimento, dois outros métodos de análise foram simulados para todas as opções já descritas, com o objetivo de criar um conjunto de indicadores que permitam a comparação por diferentes critérios, os resultados destes métodos são ilustrados nas Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11, e analisados a seguir.

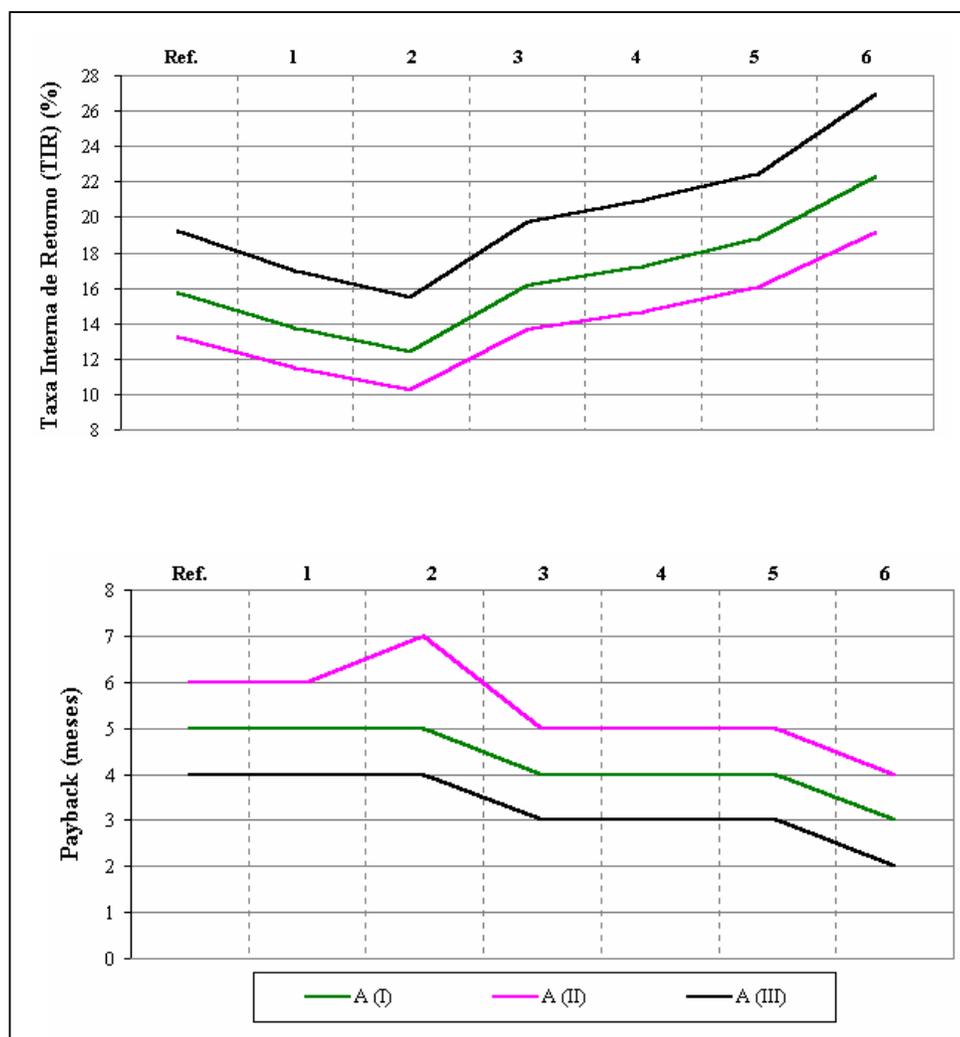


Figura 4.8 – Resultado para o perfil “A”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do *payback*

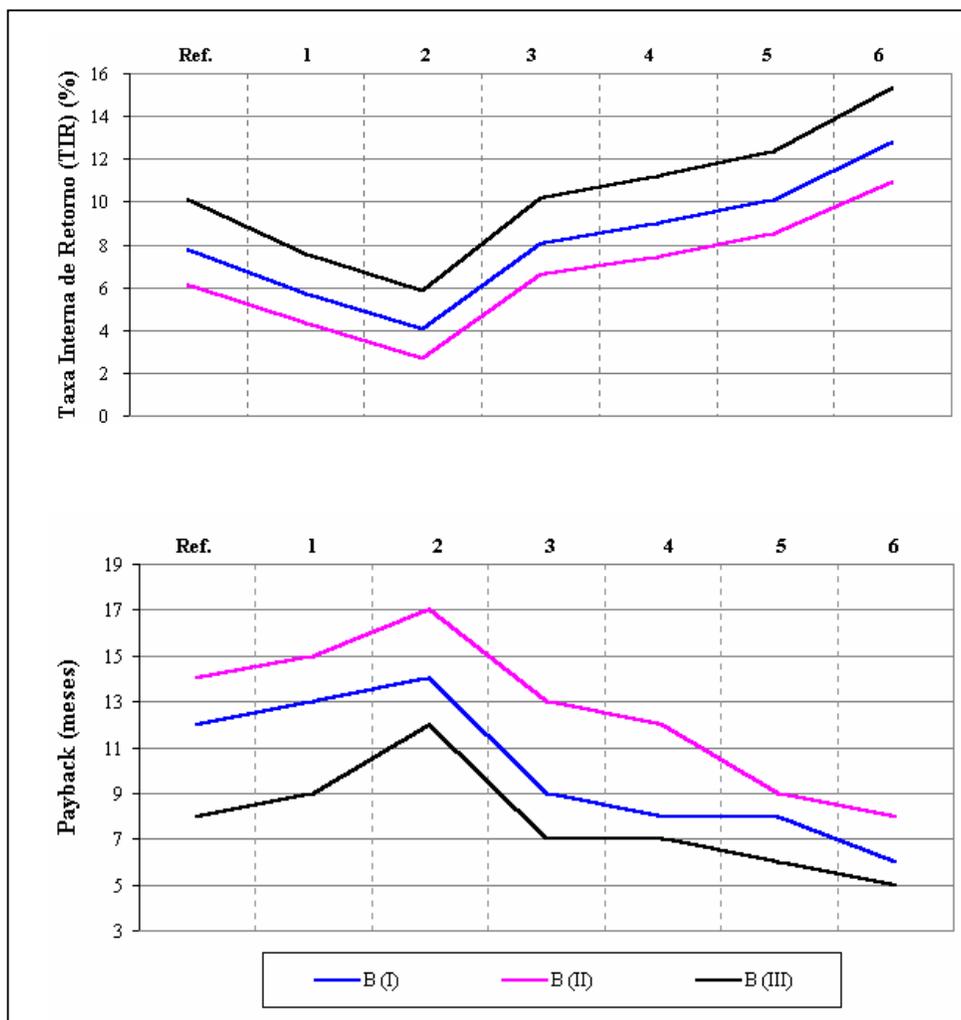


Figura 4.9 – Resultado para o perfil “B”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do *payback*

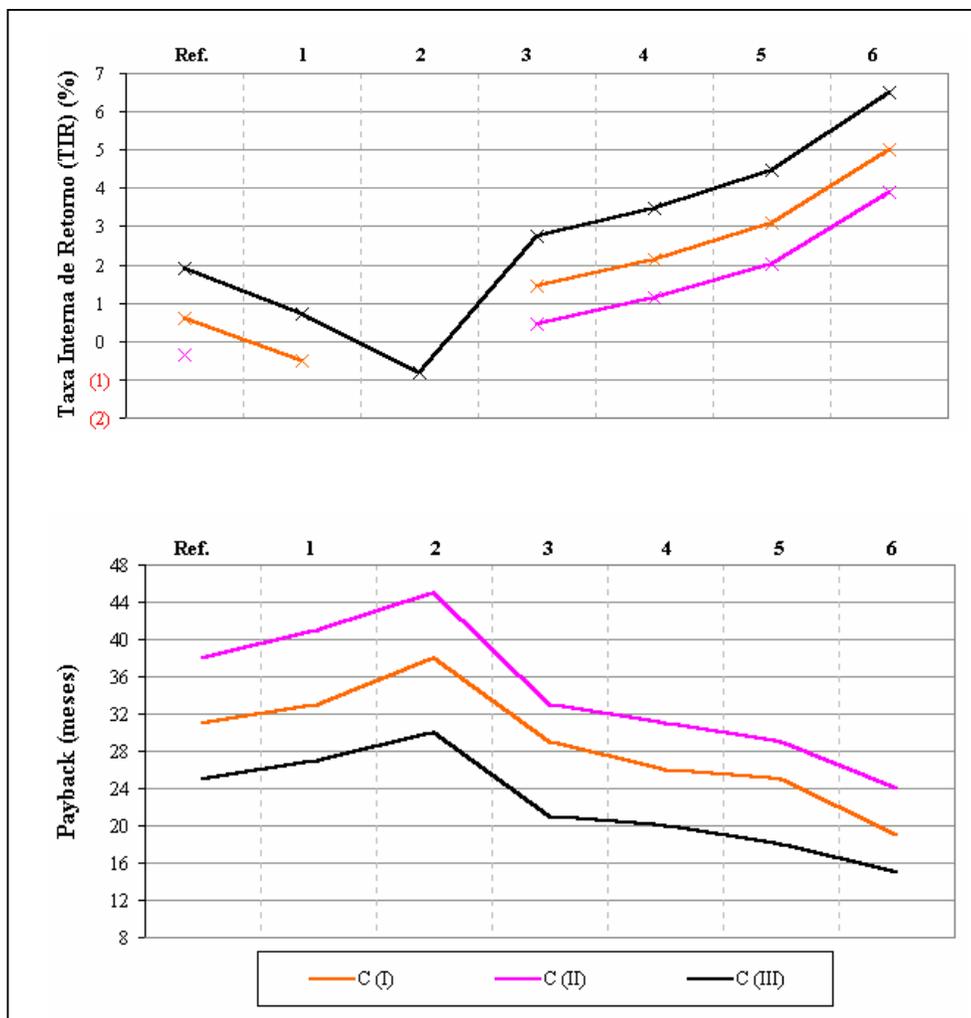


Figura 4.10 – Resultado para o perfil “C”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do *payback*

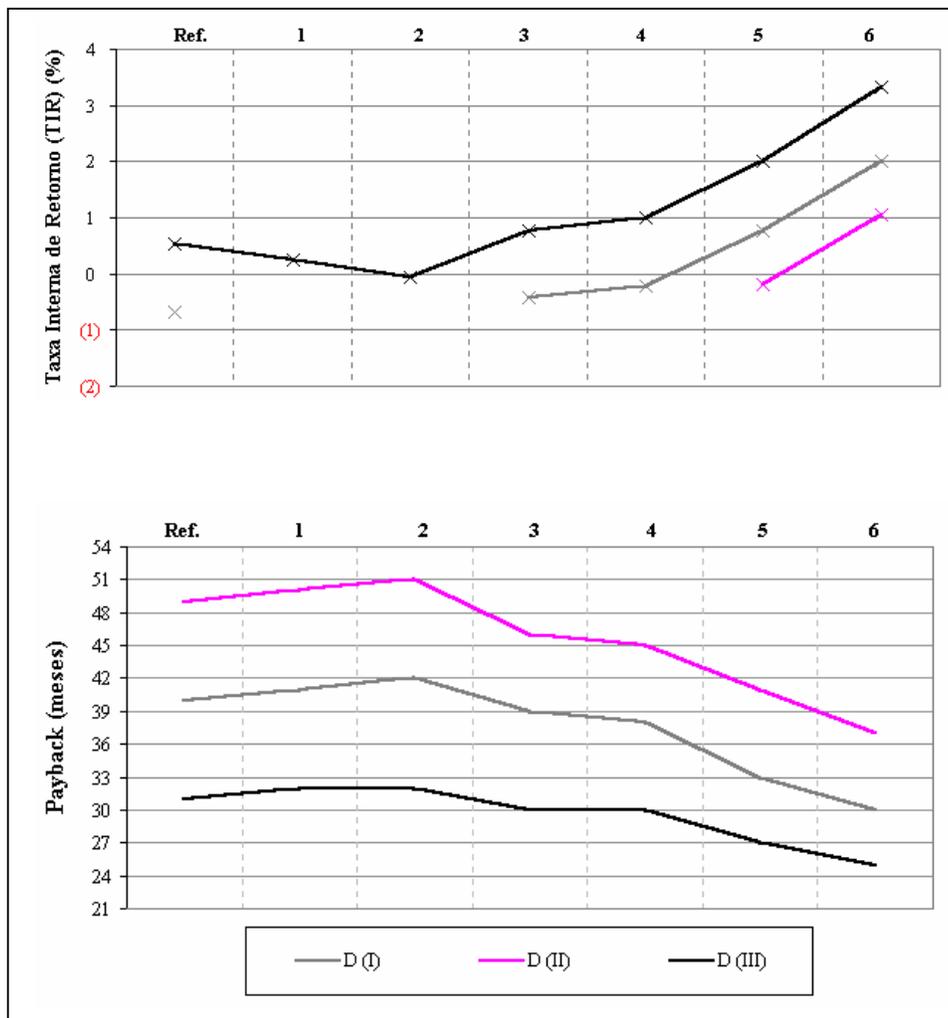


Figura 4.11 – Resultado para o perfil “D”, juntamente com a análise de sensibilidade, utilizando os métodos da taxa interna de retorno e do *payback*

Das várias análises dos cenários abordados, os impactos do aumento de 20% a.a. no custo da energia elétrica (sexto cenário) apresentam as maiores variações na TIR para os perfis “A”, “B”, “C” e “D”. A TIR resultante deste cenário para o perfil “A” (Figura 4.8), ultrapassa a TMA fixada de 12% em quatorze unidades no terceiro caso (custo do investimento inicial de R\$ 1.200,00), já para o primeiro e segundo valores (R\$ 1.500,00 e R\$ 1.800,00) alcança valores de 22,3% e 19%, respectivamente.

O mesmo acontece com o *Payback*, resultando em um menor tempo de retorno do investimento para todos os perfis deste sexto cenário. É importante ressaltar que existe um caso em que o PB ultrapassa o período fixado para o retorno do capital (36 meses), o do perfil

“D” (Figura 4.11) com investimento inicial de R\$ 1.800,00 (II), fazendo com a que alternativa em análise seja rejeitada pelo cliente.

Tomando como base a linha do gráfico onde a TIR seja igual ou maior a 12%, quase todas as opções para o perfil “A” são válidas, com exceção do primeiro e segundo cenários quando simulados com um investimento inicial de R\$ 1.800,00 (caso II). Para o perfil “B” (Figura 4.9) apenas três podem ser consideradas: quinto cenário para o terceiro caso (R\$ 1.200,00) e sexto cenário quando simulado para o primeiro e terceiro casos (R\$ 1.500,00 e R\$ 1.200,00 respectivamente).

No entanto, valores menores que o fixado pela TMA para a TIR, ainda podem manter o investimento atrativo, com um período mais longo no retorno do investimento, como visto em grande parte dos resultados apresentados pelos perfis “B” (Figura 4.9), “C” (Figura 4.10) e “D” (Figura 4.11).

Dentro da análise feita pelo método do *Payback*, foram desconsideradas as alternativas que excederam o tempo de 36 meses (horizonte de simulação fixado), considerado o ponto máximo onde o investimento ainda se mantém atrativo.

Considerando-se os resultados obtidos a partir dos seis cenários propostos, juntamente com a análise de sensibilidade apresentada para todos os perfis considerados (A, B, C e D), a Figura 4.12 ilustra a porcentagem de aceitabilidade das alternativas de investimento consideradas pelo estudo de caso.

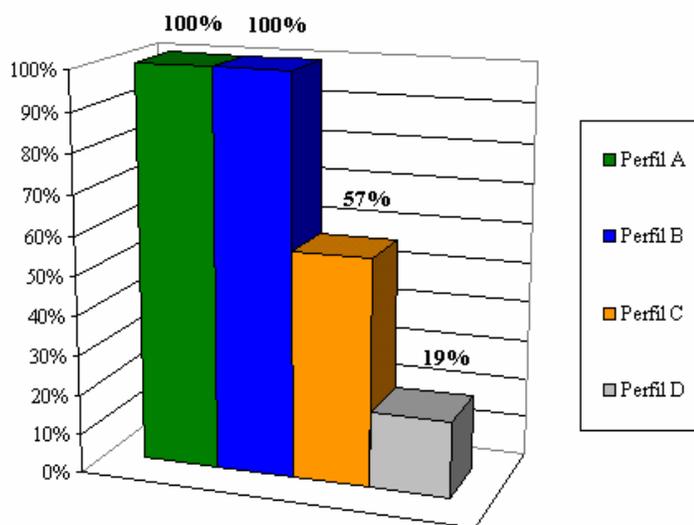


Figura 4.12 – Resultado da porcentagem de aceitabilidade das alternativas de investimento consideradas pelo estudo de caso

#### **4.5 Considerações Finais**

Conforme proposto inicialmente neste capítulo, as avaliações dos diversos cenários demonstram que, a análise econômico-financeira assume importância fundamental, constituindo-se em um instrumento de avaliação de desempenho e oferecendo indicadores das perspectivas econômico-financeiras das alternativas, indispensáveis na tomada de decisão de consumidores prediais residenciais.

Dos vários cenários simulados em conjunto com a análise de sensibilidade, os resultados obtidos demonstraram que a influência de fatores como as variações na tarifa de energia elétrica, no preço do gás natural e na taxa mínima de atratividade, contribuem de forma significativa no aumento ou redução do risco na implementação das alternativas, e conseqüentemente, na competitividade do gás natural frente à energia elétrica.

Cabe ressaltar que, o incremento no preço do gás natural aumentou substancialmente o risco pela escolha na utilização do energético, ficando assim o crescimento do uso do gás no setor residencial sujeito a questões de credibilidade e riscos associados ao negócio, ou seja, a necessidade da implementação de políticas que viabilizem a real introdução do energético, favorecendo assim os atuais clientes, bem como aqueles interessados em utilizá-lo.

## **CAPÍTULO 5 – CONTRIBUIÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

### **5.1 Introdução**

Este capítulo tem como objetivo resumir as principais contribuições do trabalho, assim como sugerir recomendações para pesquisas futuras.

### **5.2 Contribuições**

No capítulo inicial, foi discutida a necessidade de grandes investimentos para o setor de energia brasileiro, as crescentes elevações das tarifas de energia elétrica (a partir de meados da década de 90) nos diversos setores, e os crescentes investimentos das companhias distribuidoras de gás natural em suas redes de distribuição.

Neste panorama, a utilização do gás natural contribuiria no deslocamento de usos da eletricidade, postergando grandes investimentos em expansões nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

No entanto, existe a necessidade de priorizar o uso deste combustível através de alternativas que possibilitem eficiência energética, para a obtenção de seus reais benefícios. Dentre estas alternativas são destacadas a substituição da EE pelo GN nos diferentes processos térmicos presentes no setor residencial, um dos mercados em grande expansão no país.

Por essas razões o presente trabalho teve por objetivo a elaboração de uma ferramenta de análise da viabilidade econômico-financeira da utilização do gás natural em alternativa à energia elétrica, no aquecimento de água em instalações prediais residenciais. Esta problemática é decorrente da necessidade de análise dos efeitos de competição entre estes dois energéticos (GN e EE) junto aos consumidores finais.

A representação do comportamento dinâmico das variáveis envolvidas foi possível devido ao emprego da técnica de Dinâmica de Sistemas. Esta técnica de análise e modelagem possibilitou o uso combinado de métodos qualitativos e quantitativos na implementação, assim como, entre outros, de determinar os fatores que exercem maior influência sobre o comportamento do sistema.

Deste modo, a análise de parâmetros como: consumo mensal de energia elétrica e de gás natural, fluxo de caixa, taxa mínima de atratividade, etc., no processo de tomada de decisão, foi avaliada em um horizonte de simulação de médio prazo, que permite representar a dinâmica associada a tais parâmetros.

Diante dos resultados obtidos, a partir da simulação dos cenários de evolução tarifária e das diversas análises de sensibilidade, observa-se que a ferramenta proposta permite auxiliar no processo de tomada de decisão, dispondo de duas opções para o cliente: manter o energético comumente utilizado, ou seja, a energia elétrica no aquecimento de água predial residencial; ou utilizar o gás natural, resultando em uma decisão sobre um investimento a ser realizado.

Ademais, a ferramenta desenvolvida pode ser útil na aquisição de conhecimentos sobre o sistema, ou seja, ser utilizada como uma ferramenta de aprendizagem do modelo implementado, buscando melhores formas na utilização dos energéticos avaliados (GN e EE).

Com relação aos métodos utilizados no processo de tomada de decisão, como o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o *payback*, estes se apresentaram consistentes nas análises, indicando na maioria das vezes os mesmos resultados (aceito ou rejeitado), nas situações em que se fez o uso de cenários e da análise de sensibilidade.

Convém ressaltar que, analisando a utilização do gás natural no problema proposto, pode-se concluir que a viabilidade de seu uso é diretamente proporcional a relação entre a tarifa de EE e o preço do GN nestes patamares, ou seja, caso haja um maior aumento no preço do gás, para a tarifa de EE a tendência de evolução deve ser proporcional à diferença entre os dois.

Outro aspecto importante é a influência dos parâmetros número de moradores, tempo e número de banhos, e tempo de utilização da torneira, de grande sensibilidade nos valores dos resultados finais. No modelo implementado, para os perfis “A” e “B” (com quatro moradores, média de três banhos diários de 20 e 15 min, respectivamente) a taxa e o tempo de retorno do capital investido, foi significativamente maior que os dos perfis “C” e “D”, revelando que o GN não é imediatamente competitivo no aquecimento de água para famílias menos numerosas.

Neste caso, será necessário que haja incentivos por parte do governo federal na redução do preço do gás natural e na expansão das redes de distribuição para o acesso deste

energético, tão bem como uma melhor definição de políticas e diretrizes para o setor de GN, setor este dependente da criação de um ambiente favorável para atrair investidores.

### 5.3 Recomendações para Futuros Trabalhos

Este trabalho se propôs a criar um ambiente computacional para análise da viabilidade do uso do gás natural no aquecimento de água em prédios residenciais, em particular quando utilizado em alternativa à energia elétrica.

Em complementação ao trabalho aqui exposto, sugere-se a inclusão de outras análises, descritas a seguir, também com base em Dinâmica de Sistemas, objetivando destacar a importância do uso do gás natural. No entanto, é de grande importância que o energético seja aplicado onde possa haver a máxima agregação de valor a ele.

Como recomendações a futuros trabalhos têm-se:

- análise da viabilidade econômico-financeira da utilização do gás natural nos setores comercial, industrial e comercial/residencial, propiciando a integração em um único modelo, na qual permitirá a representação entre esses setores, bem como os laços de realimentação entre eles, propiciando um melhor entendimento no uso do GN como energético em um ambiente competitivo;
- implementação de uma terceira opção na análise da viabilidade econômico-financeira, ou seja, a utilização de aquecedores solares no aquecimento de água em prédios residenciais, utilizando módulos solares de filmes finos que possibilitam a integração ao *design* original do projeto arquitetônico, podendo substituir materiais de revestimento;
- estudo da integração dos sistemas de aquecimento de água a gás em prédios residenciais, com os de aquecimento por meio dos aquecedores solares, que também possuem um grande potencial de utilização no país;
- modelagem dos outros usos do GN no setor residencial, como: fornos e fogões, ar-condicionado, churrasqueiras, lavadoras de roupas e louças, aquecimento de ambientes e calefação, lareiras; integrado ao modelo proposto neste trabalho, uma vez que, o mesmo foi elaborado de forma modular.

Espera-se que as propostas apresentadas anteriormente, em conjunto com outras sugestões que possam ser feitas futuramente, sejam úteis na continuação desta pesquisa, contribuindo para a difusão do uso do gás natural nos diversos setores, principalmente pelo segmento residencial através do aquecimento de água, beneficiando a racionalidade do sistema energético como um todo.

**ANEXO 1 - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL)  
RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 74**

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL  
RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 74, DE 06 DE ABRIL DE 2005,  
VIGÊNCIA: 08 DE ABRIL DE 2005

Homologa as tarifas de fornecimento de energia elétrica da Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A – ENERSUL, para o período de 08 de abril de 2005 a 07 de abril de 2006

**Vigência: 1º de julho de 2005 a 7 de abril de 2006**

**ANEXO II**

<b>ENERSUL – SISTEMA INTERLIGADO</b>						
LEGENDA	TUSD + TUST + TE <=> (TARIFAS DE FORNECIMENTO)					
<b>TARIFA CONVENCIONAL</b>	<b>QUADRO A</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA
SUBGRUPO	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)
B1-RESIDENCIAL BAIXA RENDA						
Consumo mensal até 30 kWh		130,49		93,34		37,15
Consumo mensal de 31 a 100 kWh		223,73		160,03		63,70
Consumo mensal de 101 a 150 kWh		335,56		240,02		95,54
Consumo mensal superior ao limite regional de 150 kWh		372,82		266,67		106,15

**Vigência: 1º de julho de 2005 a 7 de abril de 2006**

**ANEXO IIA**

<b>TARIFA CONVENCIONAL</b>	<b>(2,9%) QUADRO A</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA
SUBGRUPO	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)						
A3 (69 kV)						
A3a (30 a 44 kV)	28,35	161,51	36,22	30,15	-7,87	131,36
A4 (2,3 a 25 kV)	30,48	164,76	39,16	31,19	-8,68	133,57
AS (Subterrâneo)	44,89	172,43	82,62	15,72	-37,73	156,71
B1 RESIDENCIAL		383,63		274,40		109,23
B2-RURAL		237,80		170,09		67,71
B2-COOP. DE ELETRIF. RURAL		166,24		118,91		47,33
B2-SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO		219,64		156,39		62,25
B4-ILUMINAÇÃO PÚBLICA						
B4a – Rede de Distribuição		195,42		139,78		55,64
B4b – Bulbo da Lâmpada		214,51		153,43		61,08

TARIFA HORO-SAZONAL AZUL	<b>(2,9%) QUADRO B</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)	
SUBGRUPO	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	F.PONTA
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)	19,74	3,92	17,95	3,18	1,79	0,74
A3 (69 kV)	35,45	8,96	37,83	9,24	-2,38	00,28
A3a (30 a 44 kV)	37,65	11,68	38,46	11,49	-0,81	0,19
A4 (2,3 a 25 kV)	39,96	12,40	41,29	12,39	-1,33	0,01
AS (Subterrâneo)	41,79	19,04	82,62	15,72	-40,83	3,32

TARIFA HORO-SAZONAL AZUL	<b>(2,9%) QUADRO C</b>											
	TUSD + TUST +TE				TUSD + TUST				TE			
	ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)			
SUBGRUPO	Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A1(230 kV ou mais)												
A2 (88 a 138 kV)	196,76	177,57	120,27	108,25	44,84	40,06	26,01	23,25	151,92	137,51	94,26	85,00
A3 (69 kV)	202,74	180,79	123,13	108,97	44,84	40,06	26,01	23,25	157,90	140,73	97,12	85,72
A3a (30 a 44 kV)	234,05	211,75	127,21	113,29	44,84	40,06	26,01	23,25	189,21	171,69	101,20	90,04
A4 (2,3 a 25 kV)	237,10	214,56	128,64	114,55	44,84	40,06	26,01	23,25	192,26	174,50	102,63	91,30
AS (Subterrâneo)	248,14	224,52	134,60	119,84	44,84	40,06	26,01	23,25	203,30	184,46	108,59	96,59

TARIFA DE ULTRAPASSAGEM HORO-SAZONAL AZUL	<b>(2,9%) QUADRO D</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)	
SUBGRUPO	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	F.PONTA
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)		59,21		11,76	53,84	9,54
A3 (69 kV)		106,34		26,88	113,48	27,72
A3a (30 a 44 kV)		112,96		35,05	115,39	34,48
A4 (2,3 a 25 kV)		119,89		37,20	123,88	37,17
AS (Subterrâneo)		125,37		57,13	247,86	47,17
						-122,49
						9,96

TARIFA HORO-SAZONAL VERDE	<b>(2,9%) QUADRO E</b>		
	TUSD + TUST +TE	TUSD + TUST	TE
	(R\$/kW)	(R\$/kW)	(R\$/kW)
A3a (30 a 44 kV)	11,68	11,49	0,19
A4 (2,3 a 25 kV)	12,40	12,39	0,01
AS (Subterrâneo)	19,05	15,72	3,33

TARIFA HORO-SAZONAL VERDE	<b>(2,9%) QUADRO F</b>											
	TUSD + TUST +TE				TUSD + TUST				TE			
	ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)			
	Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta	
SUBGRUPO	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A3a (30 a 44 kV)	928,28	905,98	127,21	113,29	664,10	659,31	26,01	23,25	264,18	246,67	101,20	90,04
A4 (2,3 a 25 kV)	965,12	942,60	128,64	114,55	699,65	694,87	26,01	23,25	265,47	247,73	102,63	91,30
AS (Subterrâneo)	1010,01	986,44	134,61	119,84	699,65	694,87	26,01	23,25	310,36	291,57	108,60	96,59

TARIFA DE ULTRAPASSAGEM HORO-SAZONAL VERDE	<b>(2,9%) QUADRO G</b>		
	TUSD + TUST +TE	TUSD + TUST	TE
SUBGRUPO	(R\$/kW)	(R\$/kW)	(R\$/kW)
A3a (30 a 44 kV)	35,04	34,47	0,57
A4 (2,3 a 25 kV)	37,20	37,17	0,03
AS (Subterrâneo)	57,15	47,16	9,99

<b>TARIFA COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL CONVENCIONAL</b>		
SUBGRUPO	DEMANDA	CONSUMO
	(R\$/kW)	(R\$/MWh)
A3a (30 a 44 kV)	6,78	99,71
A4 (2,3 a 25 kV)	7,07	103,40

DESCONTOS PERCENTUAIS UNIDADE CONSUMIDORA RURAL – GRUPO A	<b>QUADRO</b>	
	DEMANDA	ENERGIA
	10	10

**OBSERVAÇÃO:**

1. Cliente do **subgrupo “B2”** rural ou cooperativa de eletrificação rural “irrigante” descontar **67%** na tarifa do respectivo subgrupo, para o consumo de energia elétrica no período compreendido entre **21h30min e 6h**.
2. Cliente do **grupo “A”** rural ou cooperativa de eletrificação rural “irrigante” descontar **80%** na tarifa do respectivo subgrupo (sem desconto acumulado) para o consumo de energia elétrica, no período compreendido entre **21h30min e 6h**.
3. No caso de cooperativa, o consumo sujeito ao desconto estabelecido acima, será aquele correspondente ao somatório dos consumos dos cooperados que utiliza energia exclusivamente na atividade de irrigação.

**Vigência: 1º de julho de 2005 a 7 de abril de 2006**

**ANEXO II-B**

TARIFA CONVENCIONAL	<b>(7,9%) QUADRO A</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA
SUBGRUPO	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)						
A3 (69 kV)						
A3a (30 a 44 kV)	29,73	169,36	37,98	31,61	-8,25	137,72
A4 (2,3 a 25 kV)	31,96	172,76	41,07	32,70	-9,11	140,06
AS (Subterrâneo)	47,07	180,82	86,63	16,49	-39,56	164,33
B3-DEMAIS CLASSES		397,83		284,56		113,27

TARIFA HORO-SAZONAL AZUL	<b>(7,9%) QUADRO B</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)	
SUBGRUPO	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	F.PONTA
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)	20,70	4,11	18,82	3,33	1,88	0,78
A3 (69 kV)	37,17	9,40	39,66	9,69	-2,49	-0,29
A3a (30 a 44 kV)	39,48	12,24	40,33	12,05	-0,85	0,19
A4 (2,3 a 25 kV)	41,91	13,00	43,30	12,99	-1,39	0,01
AS (Subterrâneo)	43,82	19,97	86,63	16,49	-42,81	3,48

TARIFA HORO-SAZONAL AZUL	<b>(7,9%) QUADRO C</b>											
	TUSD + TUST +TE				TUSD + TUST				TE			
	ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)			
	Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta	
SUBGRUPO	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A1(230 kV ou mais)												
A2 (88 a 138 kV)	206,32	186,20	126,12	113,50	47,02	42,01	27,28	24,37	159,30	144,19	98,84	89,13
A3 (69 kV)	212,59	189,57	129,12	114,25	47,02	42,01	27,28	24,37	165,57	147,56	101,84	89,88
A3a (30 a 44 kV)	245,43	222,04	133,40	118,78	47,02	42,01	27,28	24,37	198,41	180,03	106,12	94,41
A4 (2,3 a 25 kV)	248,62	224,99	134,90	120,11	47,02	42,01	27,28	24,37	201,60	182,98	107,62	95,74
AS (Subterrâneo)	260,20	235,44	141,15	125,65	47,02	42,01	27,28	24,37	213,18	193,43	113,87	101,28

TARIFA DE ULTRAPASSAGEM HORO- SAZONAL AZUL	<b>(7,9%) QUADRO D</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)	
SUBGRUPO	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	F.PONTA
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)	62,08	12,33	56,45	10,00	5,63	2,33
A3 (69 kV)	111,51	28,20	118,99	29,07	-7,48	-0,87
A3a (30 a 44 kV)	118,44	36,74	121,00	36,16	-2,56	0,58
A4 (2,3 a 25 kV)	125,72	39,00	129,90	38,97	-4,18	0,03
AS (Subterrâneo)	131,46	59,88	259,90	49,46	-128,44	10,42

TARIFA HORO-SAZONAL VERDE	<b>(7,9%) QUADRO E</b>		
	TUSD + TUST +TE	TUSD + TUST	TE
	(R\$/kW)	(R\$/kW)	(R\$/kW)
SUBGRUPO			
A3a (30 a 44 kV)	12,24	12,05	0,19
A4 (2,3 a 25 kV)	13,00	12,99	0,01
AS (Subterrâneo)	19,98	16,49	3,49

TARIFA HORO- SAZONAL VERDE	<b>(7,9%) QUADRO F</b>											
	TUSD + TUST +TE				TUSD + TUST				TE			
	ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)			
	Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta	
SUBGRUPO	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A3a (30 a 44 kV)	973,38	950,01	133,40	118,78	696,37	691,35	27,28	24,37	277,01	258,66	106,12	94,41
A4 (2,3 a 25 kV)	1012,01	988,41	134,90	120,11	733,64	728,64	27,28	24,37	278,37	259,77	107,62	95,74
AS (Subterrâneo)	1059,08	1034,38	141,16	125,66	733,64	728,64	27,28	24,37	325,44	305,74	113,88	101,29

TARIFA DE ULTRAPASSAGEM HORO- SAZONAL VERDE	<b>(7,9%) QUADRO G</b>		
	TUSD + TUST +TE	TUSD + TUST	TE
	(R\$/kW)	(R\$/kW)	(R\$/kW)
SUBGRUPO			
A3a (30 a 44 kV)	36,72	36,15	0,57
A4 (2,3 a 25 kV)	39,00	38,97	0,03
AS (Subterrâneo)	59,94	49,47	10,47

DESCONTOS PERCENTUAIS	QUADRO	
UNIDADE CONSUMIDORA	DEMANDA	ENERGIA
ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO – GRUPO A	15	15
ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO – GRUPO B	-	15

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL  
RESOLUÇÃO HOMOLOGATÓRIA Nº 74, DE 06 DE ABRIL DE 2005,  
VIGÊNCIA: 08 DE ABRIL DE 2005

Homologa as tarifas de fornecimento de energia elétrica da Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A – ENERSUL, no sistema isolado de **Porto Murinho**, para o período de 01 de julho de 2005 a 07 de abril de 2006.

**Vigência: 1º de julho de 2005 a 7 de abril de 2006**

**ANEXO V**

<b>ENERSUL – SISTEMA ISOLADO</b>						
TARIFA CONVENCIONAL	<b>QUADRO A</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA	DEMANDA	ENERGIA
SUBGRUPO	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)	(R\$/kW)	(R\$/MWh)
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)						
A3 (69 kV)						
A3a (30 kV a 44 kV)	27,55	156,96	35,20	29,30	-7,65	127,66
A4 (2,3 kV a 25 kV)	29,62	160,12	38,06	30,31	-8,44	129,81
AS (Subterrâneo)	43,62	167,58	80,29	15,28	-36,67	152,30
B1-RESIDENCIAL		372,82		266,67		106,15
B1-RESIDENCIAL BAIXA RENDA:						
Consumo mensal até 30 kWh		130,49		93,34		37,15
Consumo mensal de 31 a 100 kWh		223,73		160,03		63,70
Consumo mensal de 101 a 150 kWh		335,56		240,02		95,54
Consumo mensal superior ao limite regional de 150 kWh		372,72		266,67		106,15
B2-RURAL		231,10		165,30		65,80
B2- COOP. DE ELETRIF. RURAL		161,56		115,56		46,00
B2-SERVIÇO PÚB. DE IRRIGAÇÃO		212,48		151,98		60,50
B3-DEMAIS CLASSES		368,71		263,73		104,98
B4-ILUMINAÇÃO PÚBLICA:						
B4a – Rede de Distribuição		189,91		135,84		54,07
B4b – Bulbo da Lâmpada		208,46		149,11		59,35

TARIFA HORO- SAZONAL AZUL	<b>QUADRO B</b>					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)	
SUBGRUPO	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA	F.PONTA
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)	19,18	3,81	17,44	3,09	1,74	0,72
A3 (69 kV)	34,45	8,71	36,76	8,98	-2,31	-0,27
A3a (30 a 44 kV)	36,59	11,35	37,38	11,17	-0,79	0,18
A4 (2,3 a 25 kV)	38,84	12,05	40,13	12,04	-1,29	0,01
AS (Subterrâneo)	40,61	18,50	80,29	15,28	-39,68	3,22

TARIFA HORO- SAZONAL AZUL	QUADRO C											
	TUSD + TUST +TE				TUSD + TUST				TE			
	ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)			
	Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta	
SUBGRUPO	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A1(230 kV ou mais)												
A2 (88 a 138 kV)	191,22	172,56	116,88	105,19	43,58	38,93	25,28	2259	147,64	133,63	91,60	82,60
A3 (69 kV)	197,03	175,69	119,66	105,89	43,58	38,93	25,28	22,59	153,45	136,76	94,38	83,30
A3a (30 a 44 kV)	227,46	205,78	123,63	110,09	43,58	38,93	25,28	22,59	183,88	166,85	98,35	87,50
A4 (2,3 a 25 kV)	230,42	208,51	125,02	111,32	43,58	38,93	25,28	22,59	186,84	169,58	99,74	88,73
AS (Subterrâneo)	241,15	218,20	130,81	116,46	43,58	38,93	25,89	22,59	197,57	179,27	105,53	93,87

TARIFA DE ULTRAPASSAGEM HORO- SAZONAL AZUL	QUADRO D					
	TUSD + TUST +TE		TUSD + TUST		TE	
	DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)		DEMANDA (R\$/kW)	
	SUBGRUPO	PONTA	F. PONTA	PONTA	F. PONTA	PONTA
A1 (230 kV ou mais)						
A2 (88 a 138 kV)	57,54	11,43	52,32	9,27	5,22	2,16
A3 (69 kV)	103,35	26,13	110,28	26,94	-6,93	-0,81
A3a (30 a 44 kV)	109,77	34,05	112,14	33,51	-2,37	0,54
A4 (2,3 a 25 kV)	116,52	36,15	120,39	36,12	-3,87	0,03
AS (Subterrâneo)	121,83	55,50	240,87	45,84	-119,04	9,66

TARIFA HORO-SAZONAL VERDE	QUADRO E		
	TUSD + TUST +TE	TUSD + TUST	TE
	(R\$/kW)	(R\$/kW)	(R\$/kW)
	SUBGRUPO		
A3a (30 a 44 kV)	11,35	11,17	0,18
A4 (2,3 a 25 kV)	12,05	12,04	0,01
AS (Subterrâneo)	18,51	15,28	3,23

TARIFA HORO- SAZONAL VERDE	QUADRO F											
	TUSD + TUST +TE				TUSD + TUST				TE			
	ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)				ENERGIA (R\$/MWh)			
	Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta		Ponta		F. Ponta	
SUBGRUPO	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida	Seca	Úmida
A3a (30 a 44 kV)	902,11	880,45	123,63	110,09	645,38	640,73	25,28	22,59	256,73	239,72	98,35	87,50
A4 (2,3 a 25 kV)	937,92	916,04	125,02	111,32	769,93	675,29	25,28	22,59	257,99	240,75	99,74	88,73
AS (Subterrâneo)	981,54	958,65	130,82	116,46	679,93	675,29	25,28	22,59	301,61	283,36	105,54	93,87

TARIFA DE ULTRAPASSAGEM HORO- SAZONAL VERDE	QUADRO G		
	TUSD + TUST +TE	TUSD + TUST	TE
SUBGRUPO	(R\$/kW)	(R\$/kW)	(R\$/kW)
A3a (30 a 44 kV)	34,05	33,51	0,54
A4 (2,3 a 25 kV)	36,15	36,12	0,03
AS (Subterrâneo)	55,53	45,84	9,69

DESCONTOS PERCENTUAIS UNIDADE CONSUMIDORA	QUADRO J	
	DEMANDA	ENERGIA
<b>RURAL – GRUPO A</b>	10	10
<b>ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO – GRUPO A</b>	15	15
<b>ÁGUA, ESGOTO E SANEAMENTO – GRUPO B</b>	-	15

**ANEXO 2 - PORTARIA Nº 44, DE 29 DE AGOSTO DE 2005  
(DIOSUL 6559 - 31/08/2005)**

PORTARIA Nº 44, DE 29 DE AGOSTO DE 2005 (DIOSUL 6559 - 31/08/2005).  
GNV - Art. 2º Fica estabelecido em R\$ 0,7778 o preço a vista a ser faturado mensalmente, por metro cúbico para o segmento de gás veicular.

**I – PORTARIA Nº 44, DE 29 DE AGOSTO DE 2005.**

Tabela de preços de fornecimento de gás natural no segmento residencial

<b>fx inicial</b>	<b>fx final</b>	<b>Preço - R\$/m³</b>
0	0,5	1,5195
0,5	15	1,4522
15	150	1,2970
150	300	1,1873
300	1000	0,9634
1000	7500	0,7841
7500	15000	0,7591
15000	50000	0,7294
50000	150000	0,7140
150000	250000	0,7095
250000	-----	0,6932

**II – PORTARIA Nº 44, DE 29 DE AGOSTO DE 2005.**

Tabela de preços de fornecimento de gás natural no segmento comercial

<b>fx inicial</b>	<b>fx final</b>	<b>Preço - R\$/m³</b>
0	0,5	1,3695
0,5	15	1,3022
15	150	1,1970
150	300	1,0873
300	1000	0,8634
1000	7500	0,6841
7500	15000	0,6591
15000	50000	0,6294
50000	150000	0,6140
150000	250000	0,6095
250000	-----	0,5932

**III – PORTARIA Nº 44, DE 29 DE AGOSTO DE 2005.**

Tabela de preços de fornecimento de gás natural no segmento industrial

<b>fx inicial</b>	<b>fx final</b>	<b>Preço - R\$/m<sup>3</sup></b>
0	0,5	1,3195
0,5	15	1,2522
15	150	1,1470
150	300	1,0373
300	1000	0,8134
1000	7500	0,6341
7500	15000	0,6091
15000	50000	0,5794
50000	150000	0,5640
150000	250000	0,5595
250000	-----	0,5432

## REFERÊNCIAS

- [1] BACKUS , G.A.; AMLIN, J. S.; KLEEMANN, S. *Introduction to Energy 2020*. Fairbon - Ohio: Systematic Solutions, INC. , 1993.
- [2] *Investimentos e Projeções para o Gás Natural*. GÁS BRASIL - O Portal do Gás na Internet. Disponível em: <[http://www.gasbrasil.com.br/mercado/gn/investimentos\\_gn.asp](http://www.gasbrasil.com.br/mercado/gn/investimentos_gn.asp)>. Acesso em: setembro de 2005.
- [3] *Evolução das tarifas de energia elétrica - impactos para o consumidor residencial*. IDEC - Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. Disponível em: <<http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/eletrobras/biblioteca/mercado.htm>>. Acesso em: junho de 2005.
- [4] MAGNAVITA, M.; CARVALHO, D. *Gás Natural ganha espaço no país*. CTGÁS - Centro de Tecnologias do Gás. Disponível em <<http://www.ctgas.com.br/informacoes/news/business2608.asp>>. Acesso em: setembro de 2005.
- [5] PENTEADO, R. C. *Gás Natural: O Mercado de 2008 tem que ser conquistado agora*. GÁS BRASIL - O Portal do Gás na Internet. Disponível em: <<http://www.gasbrasil.com.br/tecnicas/artigos/artigo.asp?arCod=361>>. Acesso em: julho de 2005.
- [6] *Ciência, Energia Solar e Gás Natural são alternativas para o ambiente*. Folha Online. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u9267.shtml>>. Acesso em: novembro de 2005.
- [7] MONTEIRO, J. V. *A Contribuição da automação para o mercado residencial brasileiro do gás combustível*. São Paulo, 2002. Dissertação (Mestrado em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo.
- [8] *Eletrobrás projeta crescimento de 40% no mercado residencial até 2016*. CANALENERGIA. Disponível em: <<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?id=48969>>. Acesso em: outubro de 2005.

- [9] PARO, A. C. *Estudo da contribuição do gás natural no setor elétrico – uma análise de cenários de sua expansão nos setores de geração termelétrica, cogeração e residencial*. São Paulo, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [10] MELO, J. P. *Comparando alternativas para o uso do gás canalizado: centrais termelétricas ou aquecimento de água em residências*. Itajubá, 2003. Dissertação (Mestrado de Ciências da Engenharia de Energia), Universidade Federal de Itajubá.
- [11] CORREA, E. L. *A Viabilidade Econômica do Gás Natural*. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina.
- [12] FORRESTER, J. W. *Industrial Dynamics*. Portland: Productivity Press, 1961.
- [13] BASTOS, A. A. P. *A Dinâmica de Sistemas e a Compreensão de Estruturas de Negócios*. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade de São Paulo.
- [14] FORD, A. *Modeling the Environment*. Island Press, 1999.
- [15] BATISTA Filho, J. *Simulação dinâmica de modelos operacionais com enfoque aplicado à engenharia de projetos*. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina.
- [16] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Balanço Energético Nacional de 2004*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/paginasInternas.asp?url=../BEN/default.asp>>. Acesso em: junho de 2005.
- [17] *História do Gás Natural no Brasil*. Portal GÁSENERGIA - A Energia do Gás Natural Disponível em: <<http://www.gasenergia.com.br/portatge/port/gn/historia.jsp>>. Acesso em: julho de 2005.
- [18] *Histórico do Gás Natural*. Centro de Pesquisas da PETROBRAS. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/boletim/petronline/banco/index.asp>>. Acesso em: julho de 2005.
- [19] *Reservas provadas de gás natural no Brasil*. Portal GÁSENERGIA - A Energia do Gás Natural. Disponível em: <<http://www.gasenergia.com.br/portatge/port/gn/exploracao.jsp>>. Acesso em: abril de 2005.

- [20] BRASIL. Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT) Decreto-Lei nº 3.371, 2000. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/DEC20003371.PDF>>. Acesso em: maio de 2005.
- [21] *Sobra energia. Mais por quanto tempo?; 2003. 272/2003 ed.* Rio de Janeiro: Editora Brasil Energia, 2003.
- [22] EKSTERMAN, P. *Entrevista com o economista Ronaldo de Castro Souza Jr., da área de Gás Natural da PETROBRAS.* Portal GÁSENERGIA - A Energia do Gás Natural. Disponível em: <<http://www.gasenergia.com.br/portage/port/en/entrevistas.jsp>>. Acesso em: junho de 2005.
- [23] *O Mercado Brasileiro de Gás Natural.* PETROBRAS - Petróleo Brasileiro S.A. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/Petrobras/portugues/noticias/index.htm>>. Acesso em: dezembro de 2005.
- [24] *Dois projetos para uma única lei.* Revista Petro&Química. Disponível em: <[http://www.petroequimica.com.br/edicoes/ed\\_277/277.html](http://www.petroequimica.com.br/edicoes/ed_277/277.html)>. Acessado em: dezembro de 2005.
- [25] PIRES A.; CAMPOS Filho, L. *A importância de uma lei do gás natural.* GASNET - O Site do Gás Natural. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br/artigos>>. Acessado em dezembro de 2005.
- [26] *Tire suas dúvidas sobre o gás natural.* Governo do Estado da Paraíba. Disponível em: <[http://www.pbgas.pb.gov.br/informacoes\\_gas.shtml](http://www.pbgas.pb.gov.br/informacoes_gas.shtml)>. Acesso em: abril de 2005.
- [27] MARANHÃO, R. *A importância do gás natural no Brasil, a perspectiva de sua utilização é excepcional.* GÁS BRASIL - O Portal do Gás na Internet. Disponível em: <<http://www.gasbrasil.com.br/tecnicas/artigos/artigo.asp?arCod=356>>. Acesso em: maio de 2005.
- [28] *Novas Descobertas de Gás Natural.* GASNET - O Site do Gás Natural. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br/portal/port/op/artigos.jsp>>. Acesso em: maio de 2005.
- [29] BERMANN, C. *Energia no Brasil. Para quê? Para quem? Crise e Alternativas para um País Sustentável.* 2ª ed. São Paulo/SP: Editora Livraria da Física, 2002.

- [30] HESS, S. C. *Gás natural boliviano, agora vem em diferentes quantidades de mercúrio*. Aguapé – Educação Ambiental para o Pantanal. Disponível em: <[http://www.redeaguape.org.br/desc\\_artigo.php?cod=34](http://www.redeaguape.org.br/desc_artigo.php?cod=34)>. Acesso em: janeiro de 2006.
- [31] SANTOS, E. M. *Gás natural, estratégias para uma energia nova no Brasil*. 1ª ed. Rio de Janeiro/RJ: Editora Annablume, FAPESP e PETROBRAS, 2002.
- [32] *Vantagens no uso do gás natural*. TBG - Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A. Disponível em: <<http://www.tbg.com.br/site/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61>>. Acesso em: março de 2005.
- [33] *Informações Gerais do Gás Natural*. GASNET - O Site do Gás Natural. Disponível em: <<http://www.gasnet.com.br/>>. Acesso em: fevereiro de 2005.
- [34] MELO, J.P. *Cenários do Gás Canalizado no Estado de São Paulo*. 1ª ed. São Paulo/SP: Editora ArtLiber, 2002.
- [35] *A Malha Logística do Gás Natural*. Revista Engenharia. 538ª ed. São Paulo/SP: Engenho Editora Técnica Ltda, 2000.
- [36] KLABIN, I. *O Mecanismo de desenvolvimento limpo e as oportunidades brasileiras*. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/CEE/revista/Parcerias9/05revist9klabin.PDF>>. Acesso em: junho de 2005.
- [37] Programa Nacional da Racionalização do uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET). PETROBRAS. Disponível em: <<http://www.conpet.gov.br/>>. Acesso em: novembro de 2005.
- [38] *Gás Natural Veicular*. GALP ENERGIA - A Energia Oficial de Portugal. Disponível em: <<http://www.galpenergia.com/Galp+Energia/Portugues/a+Galp+Energia/o+desenvolv.+sustentavel/inovacao+e+desenvolvimento+tecnologico/IDT+diversos/GNV.htm>>. Acesso em: maio de 2005.
- [39] *Vantagens da Utilização do GNV*. GÁS BRASIL - O Portal do Gás na Internet. Disponível em: <<http://www.gasbrasil.com.br/mercado/gnv/vantagens.asp>>. Acesso em: setembro de 2005.

- [40] *Simule a sua economia no uso do gás natural*. CEGÁS - Companhia de Gás do Ceará. Disponível em: <[http://www.cegas.com.br/simulador\\_glpcom.asp](http://www.cegas.com.br/simulador_glpcom.asp)>. Acesso em: junho de 2005.
- [41] *GN: retorno garantido para o seu negócio*. COPERGÁS - Companhia Pernambucana de Gás. Disponível em: <<http://www.copergas.com.br/site/ctudoconteudo.asp?idsecao=34>>. Acesso em: abril de 2005.
- [42] *Gás Natural: energia da melhor natureza*. SCGÁS - Companhia de Gás de Santa Catarina. Disponível em: <<http://www.scgas.com.br/e-business/tarifas.asp>>. Acesso em: abril de 2005.
- [43] *Geração de eletricidade e participação dos combustíveis*. Revista Economia e Energia. Disponível em: <[http://ecen.com/matriz/eee23/termica.htm#inic\\_term1](http://ecen.com/matriz/eee23/termica.htm#inic_term1)>. Acesso em: abril de 2005.
- [44] *A Geração Distribuída e a Cogeração*. Portal GD – Site de Geração Distribuída. Disponível em: <<http://www.portalgd.com.br/zpublisher/materias>>. Acesso em: abril de 2005.
- [45] *A Cogeração de Energia*. COGEN/SP - Associação Paulista de Cogeração de Energia. Disponível em: <<http://www.cogensp.com.br/cogensp/cogera1.htm>>. Acesso em: abril de 2005.
- [46] *Gás Natural Residencial: fonte de energia barata e segura*. COPERGÁS - Companhia Pernambucana de Gás. Disponível em: <<http://www.copergas.com.br/frme-prod-resid.html>>. Acesso em: janeiro de 2005.
- [47] *Gás para Residências*. COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo. Disponível em: <[http://www.comgas.com.br/pt/gas\\_residencias/equipamentos\\_gas\\_760.asp](http://www.comgas.com.br/pt/gas_residencias/equipamentos_gas_760.asp)>. Acesso em: janeiro de 2005.
- [48] FURLANETTO, L.F. *O Gás Natural em Residências*. Portal GásEnergia - A Energia do Gás Natural. Disponível em: <[http://www.gasenergia.com.br/portage/port/op/artigos\\_ant\\_006.jsp](http://www.gasenergia.com.br/portage/port/op/artigos_ant_006.jsp)>. Acesso em: março de 2006.
- [49] *Gás Natural: mais praticidade e segurança para dentro de casa*. CTGÁS - Centro de Tecnologias do Gás. Disponível em: <<http://www.ctgas.com.br/template02.asp?parametro=6899>>. Acesso em: junho de 2005.

- [50] *Gás natural canalizado atende 3 Mil apartamentos*. Portal GÁSENERGIA - A Energia do Gás Natural. Disponível em: <[http://www.gasenergia.com.br/portal/port/exibe.jsp?id=1917&mes=05&ano=2004&id\\_sessao=4](http://www.gasenergia.com.br/portal/port/exibe.jsp?id=1917&mes=05&ano=2004&id_sessao=4)>. Acesso em: junho de 2005.
- [51] *Projeto de Massificação do Gás Natural para a MSGÁS*. Portal GÁSENERGIA - A Energia do Gás Natural. Disponível em: <<http://www.gasenergia.com.br/portage/port/not/noticias>>. Acesso em: janeiro de 2005.
- [52] BERNARDO, B. *Região centro-oeste prioriza a distribuição em diferentes segmentos*. Portal GÁSENERGIA - A Energia do Gás Natural. Disponível em: <[http://www.gasenergia.com.br/portage/port/not/int\\_noticias.jsp?id=3169&mes=05&ano=2005&id\\_sessao=4](http://www.gasenergia.com.br/portage/port/not/int_noticias.jsp?id=3169&mes=05&ano=2005&id_sessao=4)>. Acesso em: julho de 2005.
- [53] PIDD, M. *Modelagem Empresarial - Ferramentas para Tomada de Decisão*. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- [54] ANDRADE, A. L. *Pensamento Sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional*. Revista Eletrônica de Administração (READ). PPGEP/UFRGS. Porto Alegre/RS, Edição 5, v. 3, nº1, junho de 1997, ISSN 1413-2311. Disponível em: <<http://read.adm.ufrgs.br/read05/artigo/andrade.htm>>. Acesso em: maio de 2005.
- [55] MOHAPATRA, P.K.J., MANDAL, P. E., BORA M.C. *Introduction to System Dynamics Modeling*. Universities Press (India) Limited, 1994.
- [56] FERNANDES, A. C. *Dinâmica de Sistemas e Business Dynamics: Tratando a complexidade no ambiente de negócios*. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) (21.: Out. 2001: Salvador, Bahia). Anais. Bahia, 1998. Disponível em: <<http://www.gpi.ufrj.br/pdf/artigos/Fernandes - Business Dynamics - XXI ENEGEP - 2001.pdf>>. Acessado em: junho de 2005.
- [57] *Help for Powersim Studio Enterprise 2003*. Powersim Studio Enterprise 2003 – Service Release 6.
- [58] SILVEIRA, F. S. V. *Modelo para planejamento econômico-financeiro de empresas de energia elétrica adequado ao ambiente competitivo*. Florianópolis, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina.

- [59] POWERSIM STUDIO ENTERPRISE 2003. *Software Powersim Studio Enterprise versão 2003.*
- [60] CARDOZO, C. M. F. *Operação de sistemas hidroelétricos em ambiente competitivo: uma abordagem da gestão empresarial via simulação estocástica e dinâmica de sistemas.* Florianópolis, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina.
- [61] CASAROTTO Filho, N; KOPITTKKE, B. H. *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial.* 9ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000.
- [62] HUMMEL, P. R. V; TASCHNER, M.R.B. *Análise e decisão sobre investimentos e financiamentos: engenharia econômica: teoria e prática.* Edição ampliada com modelo de determinação da inflação interna da empresa e modelo de resolução com taxa de inflação múltipla. 4ª ed. São Paulo/SP: Editora Atlas, 1995.
- [63] Microsoft Excel 2000.