

# 1 Introdução

## 1.1. Contexto geral

Este trabalho aborda o tema de eficiência energética, usando a simulação dos custos de operação e investimento como ferramenta de auxílio na decisão de investimento em sistemas de cogeração e sistemas de geração fotovoltaica, tendo o foco na operação eficiente dos sistemas energéticos.

As preocupações para garantir o fornecimento de energia vêm ganhando evidência no cenário mundial desde o Tratado de Quioto em 1997 e seus eventos precedentes, destacando-se a Conferência sobre a mudança da atmosfera realizada no Canadá em 1988, o Primeiro relatório de avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas realizado na Suécia em 1990 e a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática realizada no em 1992 no Brasil.

A conscientização dos desperdícios gerados com o consumo excessivo de energia e os problemas relativos aos impactos ambientais fazem com que se busque aprimorar os mecanismos para otimizar o aproveitamento de cada uma das fontes energéticas disponíveis (Abreu, 2007).

Um dos pilares da otimização do aproveitamento é a eficiência energética, consistindo no uso de menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético ou uma maior quantidade de valor energético com o uso da mesma quantidade energia. Seu uso pode reduzir a necessidade de investimento em infraestrutura, reduzir custos e aumentar a competitividade, além dos benefícios ambientais de redução dos gases de efeito estufa e poluição do ar.

Na busca pela eficiência energética, a cogeração, um processo muito utilizado no início do século XX pelas indústrias, voltou a ser estimulado nos últimos 15 anos pela produção de energia elétrica local mais eficiente e de baixo custo, levando ao aperfeiçoamento das tecnologias e seu uso em sistemas de pequeno porte.

A cogeração é definida por um processo de produção e utilização combinada de calor e energia elétrica, proporcionando o aproveitamento da energia térmica

proveniente dos combustíveis utilizados no ciclo termodinâmico para geração de energia, obtendo-se dois produtos distintos. Diferencia-se de sistemas de ciclo combinado por este possuir dois ciclos termodinâmicos e produzir apenas um produto final, a energia elétrica.

A figura 1 apresenta a comparação entre os diagramas de Sankey entre um sistema de geração termelétrico sem cogeração e um sistema de geração termelétrica com cogeração.

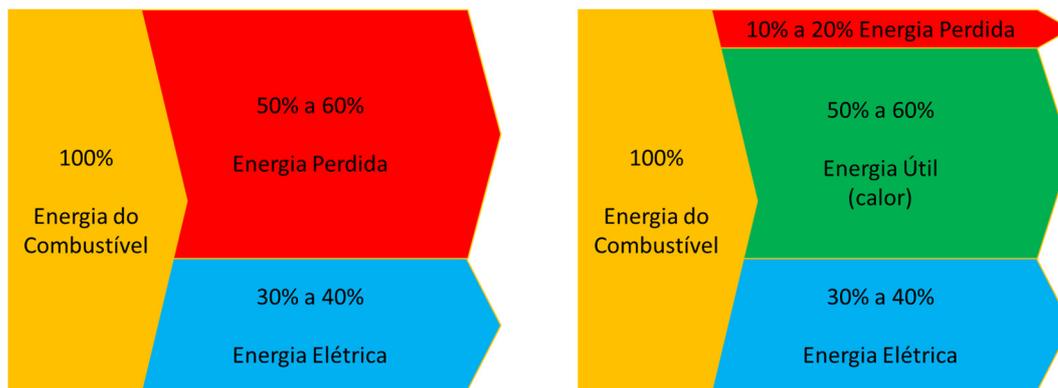


Figura 1 – Comparativo dos diagramas Sankey para sistema de geração de energia termelétrica sem cogeração e com cogeração (adaptado de [http://www.inee.org.br/forum\\_co\\_geracao.asp](http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp))

Na cogeração, a energia antes considerada como energia perdida passa a ter uso no aquecimento ou na produção de frio com a utilização de *chiller* de absorção, aumentando-se assim a abrangência do uso da cogeração.

## 1.2. Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo desenvolver um modelo de simulação termoeconômica de um sistema de cogeração e de um sistema fotovoltaico operando em paralelo com a rede de energia elétrica da distribuidora concessionária, neste trabalho chamado de sistema pretendido, a partir do perfil médio horário mensal da demanda de energia elétrica e de frio para condicionamento de ar, objetivando criar uma ferramenta de auxílio na tomada de decisão do consumidor.

Na segunda fase do trabalho, simula-se um sistema de cogeração e de geração fotovoltaica a ser instalado em um shopping center com o objetivo de comparar a solução com o sistema convencional de condicionamento de ar com *chillers* de compressão consumindo energia elétrica da distribuidora concessionária, neste trabalho chamado de sistema convencional.

### **1.3. Organização do trabalho**

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos, divididos da seguinte maneira:

No capítulo 2 é apresentado o desenvolvimento do modelo de simulação, detalhando seus módulos, seu processo e os cálculos realizados.

No capítulo 3 é apresentado o caso simulado, qualificando o consumidor, estimando suas demandas de energia elétrica e energia térmica para o condicionamento do ar, calculando sua performance e seus custos operacionais e de instalação do sistema, comparando com o sistema convencional e fazendo uma análise de sensibilidade com a variação dos principais parâmetros

No capítulo 4 é apresentada a conclusão do trabalho, havendo a proposição de ajustes e melhorias em estudos futuros.

## **1.4. Motivação**

Estudos recentes da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – FIRJAN, apontam que a tarifa média para o consumidor industrial nas 64 distribuidoras concessionárias das 27 unidades da federação é de 329,0 R\$/MWh, com variação de até 63% entre os estados.

Mais importante, porém, do que observar as disparidades regionais, é que esta tarifa média é superior em mais de 50% à média encontrada para um conjunto de 27 países no mundo, para os quais há dados disponíveis na Agência Internacional de Energia. Quando comparado aos países membros do grupo político BRICs, a tarifa de energia elétrica brasileira para o consumidor industrial é 134% maior que a média das tarifas de China, Índia e Rússia (140,7 R\$/MWh).

A tarifa de energia elétrica brasileira contém encargos que correspondem por 17% da tarifa final de energia e também tributos federais e estaduais (PIS, COFINS e ICMS) com uma alíquota média de 31,5%.

A figura 2 apresenta as tarifas industriais de consumo de energia elétrica nos estados brasileiros e países selecionados.

Diante da perda de competitividade em relação à países vizinhos e a países que concorrem com o Brasil no mercado internacional, o Governo Federal, em janeiro de 2013, aprovou a Medida Provisória 579 que, convertida na Lei 12.783, possui como principal objetivo a redução na tarifa de energia elétrica a partir do início do ano de 2013 de 20%, através da redução dos encargos setoriais e da renovação antecipada dos contratos de concessão mediante redução dos valores referentes à investimentos já amortizados.

Uma alternativa para os grandes consumidores, principalmente os consumidores industriais, para a redução do custo da energia elétrica é a autoprodução, tendo como principal fonte a cogeração, principalmente pela economia no transporta da energia, visto que sua geração é feita no local de consumo.

O presente estudo tem como motivação o papel importante do custo da energia elétrica na competitividade da indústria nacional e, conseqüentemente, no custo de vida de sua população, estudando o tema de cogeração e criando uma ferramenta de apoio a decisão do consumidor para a realização de investimento neste sistema de geração.

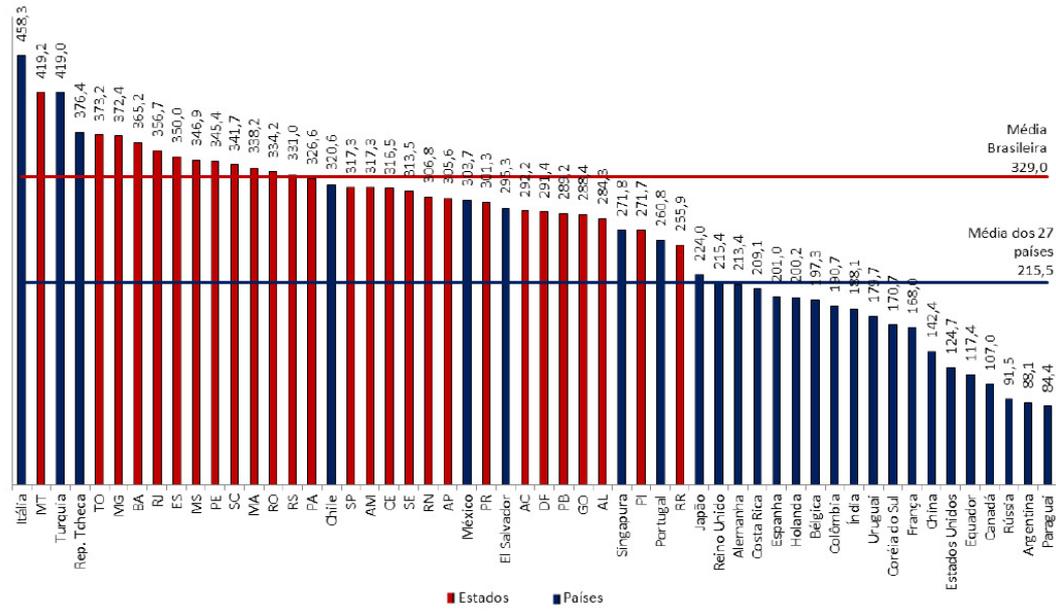


Figura 2 - Gráfico comparativo da tarifa industrial de consumo de energia elétrica nos estados brasileiros e países selecionados (FIRJAN)

## 1.5. Revisão bibliográfica

A pesquisa na literatura atual disponível não encontrou estudos sobre a análise de viabilidade técnica e econômica de sistemas de cogeração com geração de energia elétrica e produção de frio e de geração fotovoltaica com base no perfil de demanda média horária mensal do consumidor.

Se for considerado a análise do sistema de cogeração e de geração fotovoltaica de maneira independente, encontram-se alguns estudos de viabilidade técnica e econômica e dimensionamento de sistemas, conforme relacionado abaixo.

Kong et al. (2003), em estudo sobre eficiência energética e viabilidade econômica de um sistema de cogeração utilizando motor operando em ciclo *stirling*, calcularam a economia gerada e o período de retorno do sistema para a produção de energia elétrica, calor e frio para diferentes cenários de preço do gás natural, dimensionado com base na demanda média em cada estação climática.

Blasques e Pinho (2003) elaboraram um programa computacional para análise de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos para geração de eletricidade para consumidores isolados e conectados à rede, dimensionando o sistema com base no consumo de energia elétrica médio diário do consumidor.

Costa et al. (2003) analisaram técnico-economicamente a utilização de um grupo motor gerador à gás natural em um sistema de cogeração para geração de energia elétrica e produção de água quente e calor operando em paralelo com a rede de energia elétrica da distribuidora concessionária, tendo seu sistema dimensionado com base no sistema existente e seu consumo anual.

Takaki et al. (2006), analisou a viabilidade da implantação de um sistema de cogeração de energia a gás natural em frigorífico bovino, comparando um sistema de cogeração proposto com turbina a gás e *chiller* de absorção e o sistema existente no frigorífico com compressores de amônia para a produção da refrigeração.

Oh et al. (2006) analisaram economicamente a adoção de sistema de cogeração com foco no dimensionamento ótimo dos componentes do sistema com o objetivo de reduzir os custos anuais do consumidor, obtendo viabilidade econômica na implantação de um sistema de geração de energia elétrica com turbina a gás e de frio com *chiller* de absorção em paralelo com a rede de energia elétrica para um consumidor do tipo hotel ou escritório.

Cardona et al. (2006) analisaram a economia gerada por um sistema de cogeração produzindo energia elétrica por uma turbina a gás operando com gás natural, energia térmica para aquecimento e energia térmica para condicionamento de ar com a utilização de *chiller* de absorção, dimensionados com base na demanda média mensal do aeroporto.

Santos et al. (2007), em estudo sobre a análise termo-econômica de uma unidade de cogeração a gás natural com sistema de refrigeração por absorção, desenvolveram uma metodologia para analisar sistemas térmicos tendo como princípio a segunda lei da termodinâmica, atribuindo custos ao conteúdo exergético de um portador de energia com o objetivo de determinar o custo dos produtos gerados pelo sistema.

Sun (2007), em estudo sobre eficiência energética e viabilidade econômica de um sistema de cogeração utilizando grupo motor gerador operando com gás natural, calculou a economia gerada e o período de retorno do sistema para a produção de energia elétrica, calor e frio para diferentes cenários de preço do gás natural e de energia elétrica da rede, dimensionado com base na demanda média em cada estação climática.

Ren et al. (2008), em estudo sobre a otimização econômica e análise de sensibilidade de sistemas fotovoltaicos em prédios residenciais, elaboraram um modelo para otimização do sistema fotovoltaico com o critério de menor custo anual dimensionado com base no perfil de demanda média horária de energia elétrica do consumidor, elaborando uma análise de sensibilidade do período de retorno do investimento para diferentes cenários de custo de investimento, eficiência do sistema, taxa de juros e custo de energia elétrica.