

1. Introdução

A história recente do Sistema Elétrico Brasileiro é interessante. Depois de um longo período de monopólio estatal, o setor passou por profundas mudanças legais para tentar aumentar a eficiência através da competição. Além disto, o consumo de Energia Elétrica no Brasil apresenta uma taxa de crescimento anual durante os últimos 5 anos. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2009) o consumo de eletricidade até novembro do 2008 na rede do sistema elétrico Brasileiro totalizou 33766 GWh. Comparando esse valor com o do mesmo mês de 2007, houve um crescimento de 3,1%; isto se deveu basicamente ao comportamento do consumo industrial. No final do ano 2009 a situação mudou devido a fatos internacionais econômicos e a crise mundial em todos os setores. Em dezembro de 2009, o setor elétrico mostra uma queda de 1,1% no consumo de energia deste ano contra o do ano anterior, por conta da retração da atividade econômica.

Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2009), Brasil deverá experimentar um salto de consumo em 2010 e elevar a demanda em 9,4% em relação a 2009. A partir de 2010, o consumo de energia no Brasil vai subir em média 5,2% ao ano até 2018. Esta estimativa tem com base uma projeção do crescimento do Produto Interno Bruto de 0,5 % em 2009 e 6% em 2010. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética, 2009), de 2011 ate 2018, o PIB utilizado indica alta anual de 5% em média. Nesse contexto de rápida retomada da economia brasileira, espera-se um forte crescimento de consumo de eletricidade, impulsionado pela recuperação da atividade industrial no país, pelas políticas de expansão de infra-estrutura em andamento e pela continuidade do processo de melhoria da renda e da qualidade de vida da população.

É importante mencionar que as funções básicas do setor elétrico, ou seja, as atividades necessárias para que se tenha energia elétrica disponível em cada residência ou indústria são: geração, transmissão, distribuição, operação do sistema e comercialização (Pinto Junior, 2007).

Para nosso caso de estudo, a concessionária que fornece a energia elétrica, e da qual provém às contas que são base para nossa análise de tarifas, é chamada Light Serviços de Eletricidade S.A., empresa do Grupo Light, responsável pela distribuição de energia elétrica em 31 municípios do estado do Rio de Janeiro, abrangendo 25% do território estadual, só para fazer menção as suas vendas são aproximadamente 72% de toda a energia consumida no Estado do Rio de Janeiro.

A energia elétrica é um fluxo ou uma forma de energia para a qual não se tem uma tecnologia economicamente viável que permita sua estocagem em grandes volumes (Pinto Junior, 2007). Portanto o que caracteriza o produto eletricidade é o fato de que ele é um fluxo não estocável. Então se pode considerar que o que une os diversos processos em um sistema elétrico é o fluxo elétrico integrando-os no tempo e espaço (Pinto Junior, 2007). Desta forma, pode-se ter uma ou mais medições, ou uma média da medida desse fluxo. Conhecendo-se isto, pode-se ter a idéia de um determinado perfil elétrico para uma dada instituição, residência ou indústria.

Desde o ponto de vista do usuário (consumidor) é muito importante saber qual é, econômica e operacionalmente, a melhor opção de produção de energia, assim como de transformação e utilização da mesma. Para esse fim, existem diversas formas de compra, geração e utilização da energia elétrica. As tecnologias oferecem rendimentos, custos de investimentos, modos operacionais, avançados estudos de cogeração e custos de produção variados.

O ponto de partida para uma adequada tomada de decisão, ou o desenvolvimento de um projeto de economia de energia elétrica, exige uma avaliação gradual de um número grande de fatores. Inicialmente é necessário realizar uma análise simplificada que considere a dinâmica da carga elétrica do usuário, quer dizer, precisa-se da especificação do seu perfil elétrico. (Ashrae, 2001). Esse perfil elétrico poder-se-ia obter de diversas formas: (i) da concessionária local, (ii) por dados adquiridos com meios próprios, (iii) por estimativas através da literatura disponível para casos similares ou (iv) pela experiência do projetista (Do Val e Orlando, 2002).

Para nosso caso, a concessionária local fornece á pedido, o perfil elétrico para o ultimo mês da operação, somente. No perfil, se informa detalhadamente o valor da potência média para cada 15 minutos ao longo do dia, para todos os dias do mês, além de fornecer também a potência máxima instantânea e a energia consumida para períodos de ponta, fora de ponta e totais sobre o mês.

Então, se o perfil elétrico estiver disponível para todos os dias do ano é possível calcular o custo da eletricidade adquirida da concessionária local. Não obstante, esta informação é raramente disponível, tem um custo elevado e muitas vezes sua obtenção toma um tempo considerável. No presente trabalho de dissertação foram desenvolvidas duas metodologias, tendo em vista a ausência de dados disponíveis para estimar esse perfil elétrico mês a mês ao longo de um ano, e dessa forma construir uma Curva de Capacidade de Carga que permite avaliar o dimensionamento de um número ótimo de Geradores Diesel, que possam funcionar no horário de ponta e diminuir o custo pago á concessionária local pela energia elétrica consumida. Para as duas metodologias far-se-á uma análise econômica, calculando a Taxa Interna de Retorno e o Tempo de Retorno Econômico do investimento para tomada de decisões.

As duas metodologias foram desenvolvidas para o perfil elétrico da PUC – Rio, com o intuito de poder usar as mesmas metodologias em qualquer outra instituição com um perfil semelhante ao da PUC – Rio. Com o desenvolvimento do trabalho descobrimos que a segunda metodologia tem certas limitações se for usada em outras instituições.

1.1. Motivação.

O modo de vida de hoje seria impossível sem o conforto e o bem-estar proporcionados pela energia elétrica. Ela pode ser utilizada para satisfazer uma série de necessidades: iluminar, obter condições ambientais adequadas ao bem-estar humano, transformar matérias-primas em produtos, aquecer ou resfriar a água para uso doméstico, enviar e receber informações, em fim, um sem-número de necessidades que vão desde aquelas ligadas à produção até aquelas ligadas ao lazer.

Nosso mundo moderno está atravessando uma série de mudanças climáticas, consequência de fatos já conhecidos, como aquecimento global e poluição ambiental desmedida, o que se reflete no aumento do consumo de energia elétrica. Só para mencionar, o consumo de energia elétrica no Brasil atingiu um consumo máximo no mês de fevereiro de 2010, com uma média da ordem de 68 GWh, no horário de pico. Segundo a empresa de Gás e Energia da Petrobras, cerca de 26,4% acima da média de consumo de todo o ano passado que foi de 53,3 GWh. Segundo a empresa de pesquisa da Petrobrás, o forte aumento do consumo se deve às altas temperaturas dos dias mais quentes do verão no Sudeste e ao aumento da atividade industrial.

Assim, a energia elétrica faz parte cada vez mais importante no desenvolvimento das atividades humanas. Na atualidade, têm-se programas de economia de energia elétrica, auditorias planejadas no setor industrial e comercial, redução de desperdícios de energia nas instituições, avanço da tecnologia em equipamentos e aparelhos com mais rendimento energético. Além disso, é também importante procurar novas alternativas de controle e diminuição de custo aos usuários. É por isso que o presente trabalho procura dar uma ferramenta de avaliação e diminuição do custo pago à concessionária local, optando pela autogeração de energia elétrica nos horários de ponta no setor comercial, tomando como base de estudo o perfil de consumo da PUC – Rio.

1.2.

Estado da arte.

No ano 2005 foi desenvolvido um trabalho de Dissertação de Mestrado no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC – Rio intitulado: Geração de Perfis Elétrico e Térmico para Otimização de um Sistema de Cogeração. Neste trabalho foi feito um estudo sobre a transformação dos sistemas convencionais para operação em cogeração. Assim, foi feita uma estimativa do consumo de energia elétrica e térmica para que o sistema de cogeração possa ser dimensionado e deslocar a energia elétrica consumida pelos sistemas convencionais.

Com este fim, neste trabalho foi desenvolvida uma metodologia para a estimativa dos perfis elétrico e térmico mês a mês ao longo do ano, a partir dos poucos dados normalmente disponíveis. No perfil elétrico, dados de consumo de energia elétrica medidos na PUC – Rio, para cada 15 minutos no período de um ano, foram utilizados para validar a metodologia proposta. No perfil térmico foi estimado o consumo de energia térmica a partir dos valores da temperatura ambiente, cargas térmicas internas e radiação solar incidente no local. Esta metodologia, na ausência de dados, foi validada em comparação com o cálculo da radiação solar média com outro estabelecimento nos Estados Unidos.

No início do ano 2009 o professor Alcir de Faro Orlando do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC – Rio fez um estudo da Redução de Custos com Energia Elétrica da PUC – Rio tomando em consideração o grande uso que faz esta instituição deste recurso energético e também pela facilidade e acessibilidade aos dados e informações que a instituição pode dar para esse trabalho de pesquisa.

Nesse trabalho foi feito uma análise e avaliação de desempenho dos equipamentos disponíveis (geradores diesel) para otimizar seu uso e reduzir os custos energia elétrica; assim foi feita uma avaliação seguindo as etapas.

- i) Estimativa do consumo médio mensal de energia elétrica (kWh/mês), com os dados mensais de fatura durante os anos 2007, 2008 e 2009.

- ii) Atualização do custo da energia elétrica paga pela PUC – Rio, segundo os valores da última revisão tarifária periódica para a Light, de acordo com a Resolução Homologatória nº 734 de 4 de novembro de 2008, válida por 1 ano.
- iii) Verificar se existe vantagem econômica em se mudar de tarifa (verde para azul), enquanto os equipamentos existentes permanecerem não conectados a rede interna da PUC – Rio.
- iv) Estimar a economia que seria obtida se os equipamentos existentes estivessem operando no horário de ponta, conectados a rede interna da PUC – Rio.
- v) Estimar o desempenho dos equipamentos.
- vi) Estimar o investimento na aquisição de novos equipamentos para operarem com os existentes, de tal forma que o custo global de fornecimento de energia elétrica à PUC – Rio seja o menor possível ao longo de sua vida útil.
- vii) Avaliar as condições de financiamento existentes no mercado para a aquisição dos equipamentos.
- viii) Parecer sobre a condição mais viável economicamente para a PUC – Rio.

Nesse trabalho, foi descrito que a PUC – Rio pertence ao setor comercial e o uso de energia elétrica abrange a maioria de processos que ela desenvolve, tais como iluminação de todas as salas e laboratórios, alimentação de redes elétricas, refrigeração, ar condicionado, etc. Foi também descrito que a PUC – Rio possui atualmente fornecimento de energia elétrica da concessionária Light e de acordo com as normas tarifárias determinou-se que a PUC – Rio pertence a uma classificação tarifária “Horo Sazonal Verde A4.”

Foi descrito também que a PUC – Rio possui quatro geradores Diesel FG Wilson 500E1 (ainda não conectados a rede interna) para operar nos horários de

ponta (17:30 – 20:30 h). O consumo de energia elétrica nesse horário (horário de ponta) é elevado e muito custoso para a tarifa verde; foi por isso que a PUC – Rio adquiriu os quatro geradores com o objetivo de reduzir os custos de fornecimento de energia elétrica que a PUC – Rio tem mês a mês.

Antes de avaliar o desempenho dos geradores diesel existentes na PUC – Rio, o trabalho mostra uma estimativa do consumo médio mensal de energia elétrica (kWh/mês), com os dados mensais de fatura durante os anos 2007, 2008 e 2009 para horário de ponta e para horário fora de ponta.

Tabela 1. - Consumo de energia elétrica no horário de ponta da PUC – Rio para Tarifa Verde. (Orlando, 2009)

Descrição	Quantidade	Unidade
Consumo mensal (media)	89493	kWh/mês
Custo	176079	R\$/mês
Custo médio da Energia	1,96	R\$/kWh

Como é mostrado na Tabela 1, o consumo médio mensal no horário de ponta da PUC – Rio foi de 89493 kWh e de acordo com a tarifa estabelecida Horo Sazonal Verde A4 representa um custo de 1,96 R\$/kWh.

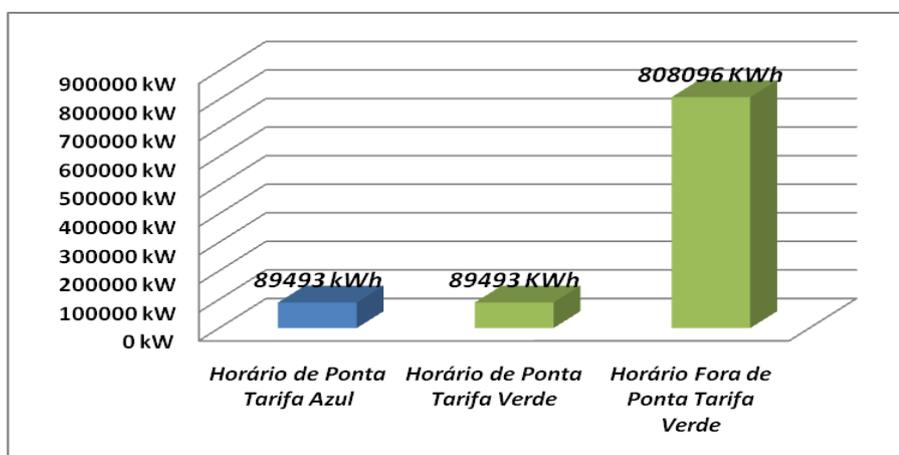


Figura 1. – Consumo de energia elétrica no horário de ponta da PUC – Rio para Tarifa Verde e Azul. (Orlando, 2009)

Como é mostrado na Figura 1, o consumo de energia no horário de ponta para a tarifa verde é muito menor do que no horário fora de ponta para a mesma tarifa.

Tabela 2. - Consumo de energia elétrica no horário fora de ponta da PUC – Rio para Tarifa Verde. (Orlando, 2009)

Descrição	Quantidade	Unidade
Consumo mensal (média)	808096	kWh/mês
Custo	247490	R\$/mês
Custo médio da Energia	0,30	R\$/kWh

Como é mostrado na Tabela 2, o consumo médio mensal no horário fora de ponta da PUC – Rio foi de 808096 kWh e de acordo com a tarifa estabelecida Horo Sazonal Verde A4 representa um custo de 0,30 R\$/KWh, que é menor que no horário de ponta, sendo o consumo muito maior.

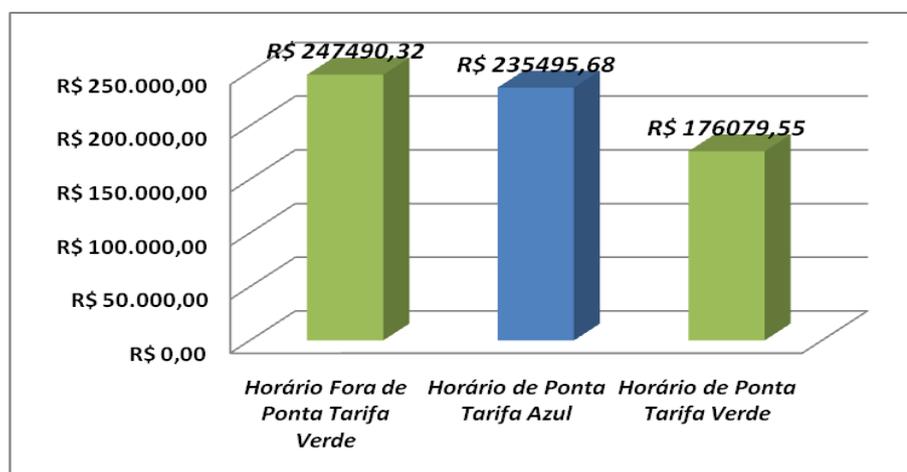


Figura 2. – Custo total de energia elétrica no horário de ponta da PUC – Rio para Tarifa Verde e Azul. (Orlando, 2009)

Pode-se notar que o custo médio de energia por kWh no horário de ponta é maior que o custo no horário fora de ponta com uma diferença de R\$ 1,7 por kWh consumido, segundo as Tabelas 1 e 2.

Então, chegou-se à conclusão de otimizar o consumo de energia elétrica da PUC – Rio no Horário de Ponta. Considerando que o custo mais elevado é justamente nesse horário, o autor desse trabalho de pesquisa também pensou na possibilidade de avaliar o consumo de energia elétrica mudando de tarifa verde para a tarifa azul.

Tabela 3. - Consumo de energia elétrica no horário de ponta da PUC – Rio para Tarifa Azul. (Orlando, 2009)

Descrição	Quantidade	Unidade
Consumo mensal (media)	89493	kWh/mês
Custo	235495	R\$/mês
Custo médio da Energia	2,63	R\$/kWh

Como é mostrado na Tabela 3, o custo de energia elétrica para a Tarifa Azul no horário de ponta para a PUC – Rio seria de 2,63 R\$/KWh. Este valor é maior que o custo médio da energia fornecida para a Tarifa Verde 1,96 R\$/KWh. Então não é interessante nem economicamente viável mudar para a tarifa azul no horário de ponta.

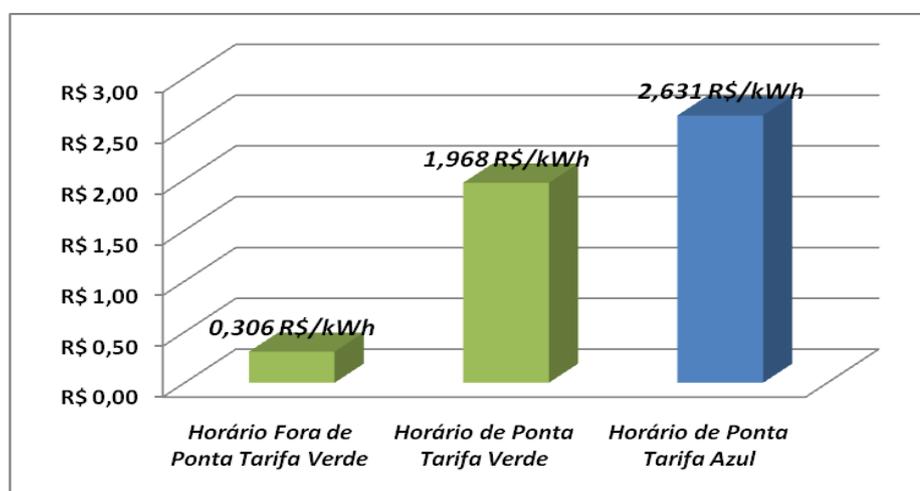


Figura 3. – Custo de energia elétrica no horário de ponta da PUC – Rio para Tarifa Verde e Azul. (Orlando, 2009)

Como é mostrado na Figura 3, mudar para Tarifa Azul no horário de ponta não é mais economicamente viável pelo alto custo. Desta forma o estudo foi feito para redução do custo da energia no horário da ponta com a tarifa Horo Sazonal Verde.

Para esse trabalho, a PUC – Rio forneceu os dados de consumo de energia elétrica cada 15 minutos. Com isso foi feita uma simulação para determinação da contribuição da Geração Diesel em substituição parcial à energia atualmente adquirida da Light no horário de ponta. A metodologia de cálculo levou em consideração que se a demanda for inferior a capacidade do grupo de 4 geradores (1456 kW), este operará em carga parcial, fornecendo toda a energia a PUC – Rio. Se a demanda for superior, o grupo gerador operará em

carga plena de 1456 kW, a diferença sendo suprida pela Light. Com essa metodologia se fez uma estimativa de cálculo, variando o número de geradores de 4 a 9, tomando em consideração a variação do custo operacional e a economia do sistema. Para o cálculo da vida útil dos geradores foi utilizado o valor de 12 anos ou 144 meses.

Assim, determinou-se o número ótimo de geradores que minimiza o custo da energia ao longo de sua vida útil, sendo este número igual a 6. Para isto, segundo o autor do trabalho, será preciso investir em 2 geradores para completar os existentes na PUC – Rio e alcançar a uma potência de 2184 kW.

O custo benefício da aquisição de mais 2 geradores para geração de energia elétrica pode ser avaliado calculando-se o tempo de retorno do investimento (*Payback*) e a taxa interna de retorno (TIR) para um horizonte igual à vida útil dos geradores (12 anos). Segundo a análise econômica feita no trabalho, o *Payback* foi de 17,3 meses e a TIR de 69,2%.

Foi feita também uma análise de viabilidade da utilização de geradores a gás natural com as tarifas vigentes da CEG. Foi visto que a economia é quase igual à de um gerador diesel. O problema reside no fato de que o gerador a gás é muito mais caro do que o a diesel, chegando-se à conclusão que não vale a pena gerar com gás natural em lugar de diesel.

Finalmente nesse trabalho, chegou-se à conclusão que a melhor opção para a PUC – Rio é a aquisição de mais 2 geradores a Diesel para fornecimento de energia elétrica nos horários de ponta. Esses geradores podem ser dispostos em 3 grupos de 2 geradores agrupados verticalmente, o que minimiza o espaço necessário.

1.3. Contribuição do presente trabalho

Desenvolver uma metodologia para simulação de um Perfil Elétrico de um determinado local comercial no horário de ponta quando não se tem todos os dados desejados de consumo de energia elétrica, assim como facilitar a análise técnico – econômica para melhoria da tomada de decisões.

1.4. Objetivo

Desenvolvimento de uma metodologia para simulação de perfil de consumo de energia elétrica no setor comercial e de otimização técnico - econômica de um sistema híbrido para seu atendimento no horário de ponta.

Como referências foram utilizados perfis de consumo medidos na PUC – Rio a cada 15 minutos, durante um período de pelo menos um ano, além das informações de fornecimento de energia elétrica contidas nas faturas mensais da concessionária local

1.5. Descrição da dissertação

A presente dissertação de mestrado se encontra dividida em cinco capítulos a seguir. No primeiro capítulo apresenta-se uma introdução sobre aspectos gerais do conteúdo da dissertação, o mercado de energia elétrica no Brasil, o perfil do consumo atual da energia elétrica, fatos e causas do aumento de consumo energia elétrica. Depois se apresenta a motivação, o estado da arte com trabalhos e pesquisas feitas anteriormente, o objetivo da dissertação e finalmente a descrição dos capítulos.

No segundo capítulo são apresentados os conceitos teóricos na seguinte ordem: capacidade de carga, perfil elétrico, estudo e composição das tarifas elétricas, cálculo tarifário, função de densidade de probabilidade, taxa interna de retorno e *PayBack*.

No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia de análise e dimensionamento do sistema híbrido e outra metodologia alternativa. No quarto capítulo analisam-se os resultados e faz-se uma validação da metodologia com dados fornecidos pela PUC – Rio.

Finalmente no quinto capítulo, encerra-se a dissertação com as conclusões e sugestões para estudos futuros.