



21-25  
AGOSTO DE 2016  
FORTALEZA - CEARÁ

## ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE COGERAÇÃO APLICADO A UM CENTRO COMERCIAL

Alexandre Schmidt Ferreira, alexandresfe@gmail.com<sup>1</sup>

Julian Esteban Barrera, jebarrerat@gmail.com<sup>1</sup>

Edson Bazzo, e.bazzo@ufsc.br<sup>1</sup>

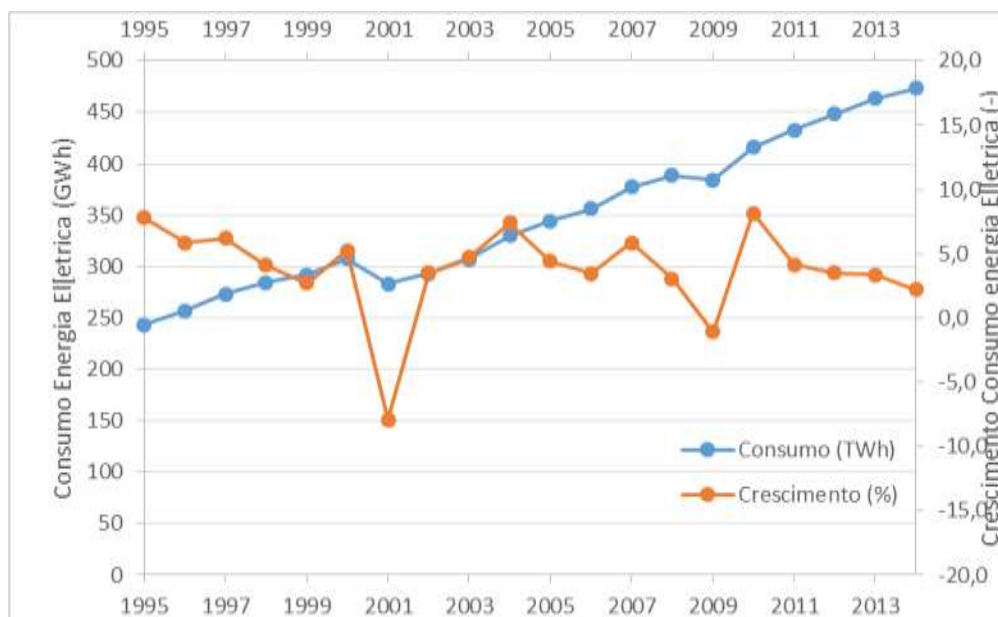
<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n, Florianópolis, 99040-900

**Resumo:** No presente trabalho é realizada uma análise de pré-viabilidade técnica e econômica para um sistema de cogeração aplicado em um Shopping da região da Grande Florianópolis. O objetivo desse sistema é garantir a segurança energética e diminuição de custos operacionais. A demanda energética (eletricidade e frio) do Shopping é levantada por meio de histórico de contas de energia elétrica, além de pesquisa em alguns Shoppings da região. O cenário energético atual do empreendimento é primeiramente analisado e posteriormente uma solução de layout é apresentada. A planta de cogeração proposta possui um gerador a gás natural com recuperação de calor por meio da água de arrefecimento e dos gases de exaustão do motor para funcionamento de um chiller de absorção. Um gerador a diesel, já existente no empreendimento, é acionado somente nos horários de pico da rede. Neste cenário, a eletricidade consumida proveniente da distribuidora é zerada no horário de ponta, ou seja, toda energia é fornecida pelo gerador a gás natural e complementada pelo gerador a Diesel. A eletricidade gerada pelo gerador a gás natural representa 67,6% da demanda elétrica total nesse cenário, enquanto que a distribuidora (fora da ponta) e o gerador a Diesel (ponta) representam 32,4%. O chiller de absorção foi responsável direto pela diminuição da demanda elétrica original (1630 kW) em 58 kW (3,6% do original), resultando em uma demanda final de 1572 kW. A eficiência global do ciclo é, então, conhecida, assim como a eficiência de qualificação ANEEL de cogeneradores, a qual foi atingida pelo sistema. A análise econômica é realizada e os custos de operação são calculados, tal como o retorno financeiro anual. O sistema de cogeração diminui em 70% o consumo de energia elétrica vinda da distribuidora, além de 73% (2,2 milhões de reais) do valor pago à mesma. Por outro lado, cria-se uma demanda expressiva para o gás natural (1,5 milhão de reais, aproximadamente), diminuindo, no entanto, o consumo do Diesel para geração de energia em 57%. Os custos totais de operação anuais dos cenários atual e com cogeração foram calculados em 4,11 e 3,09 milhões de reais (25% a menos), respectivamente. Logo, o retorno financeiro anual é fixado em 1,0 milhão de reais para esse investimento. Por meio de análises de VPL e TIR, esse sistema de cogeração foi considerado atrativo financeiramente.

**Palavras-chave:** Cogeração, Conservação de Energia, Geração Distribuída, Análise Econômica

### 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o consumo de energia elétrica no Brasil aumenta, conforme mostrado na Figura 1, e, segundo o relatório da EPE (2015b), essa será uma tendência até 2024, a uma taxa média anual de 3,9%. O setor no qual o consumo de eletricidade mais crescerá nos próximos 10 anos será o comercial, 5,2% a.a., logo após o residencial, 4,3% a.a., depois outras classes, 3,7 a.a., e por fim o industrial, 2,9% a.a.



**Figura 1. Consumo de energia (GWh) e crescimento do consumo (%) no Brasil, 1995 a 2014. Fonte: (EPE, 2014).**

Somado a esse cenário, por três anos seguidos as usinas hidrelétricas estão operando em condições climáticas adversas (crise hidrológica), o que está diminuindo a parcela dessa fonte na matriz energética e aumentando o uso das termelétricas, que são mais custosas e de eficiência perto dos 40% (EPE, 2015a). O Brasil, no entanto, já possui uma grande capacidade de geração instalada que está ociosa, a chamada geração distribuída de ponta. Os seus consumidores, principalmente os pertencentes à tarifa A4, geram eletricidade no horário de ponta, devido ao elevado custo da tarifa (INEE, 2016) (EPE, 2015). Nesse sentido, pela necessidade de diversificar a matriz energética e pela possibilidade de utilizar esse parque gerador ocioso, consequentemente, diminuindo a dependência das hidrelétricas e usinas térmicas convencionais, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Ministério de Minas e Energia (MME) estão incentivando e regulamentando a geração distribuída no país (MME, 2015).

O setor comercial está sendo avaliado para a geração distribuída devido a sua importância no crescimento da energia elétrica nacional e da já existência de geradores, principalmente em grandes centros comerciais. Nesse caso, a cogeração se torna uma importante opção, devido ao seu elevado rendimento, entre 70 e 90%, e a possibilidade de oferecer, além de eletricidade, calor e frio para o empreendimento (SZKLO, SOARES e TOLMASQUIM, 2000, 2001). Outro ponto favorável da cogeração no setor comercial é a segurança energética do sistema, o qual pode manter o funcionamento do local mesmo em momentos de falhas na distribuidora de energia (“apagões”), a exemplo dos acontecidos em 2009 e 2014 (GAZETA DO POVO, 2014).

A COGEN RIO (2007) realizou uma pesquisa na região metropolitana do Rio de Janeiro, e em outros municípios selecionados, com o objetivo de verificar a capacidade do mercado analisado em absorver a instalação de unidades cogeradoras. O resultado apresentou uma capacidade energética de até 582,6 MW no total, sendo 45,4 MW destinados aos Shopping Center, o que demonstra o potencial da cogeração no setor e a necessidade de maiores investimentos.

Este trabalho visa analisar técnica e economicamente a viabilidade de um sistema de cogeração aplicado a um centro comercial (shopping center) de grande porte da região da Grande Florianópolis. O sistema proposto é constituído de um conjunto gerador a gás natural com reaproveitamento da energia térmica dos gases de exaustão e água de arrefecimento para gerar “frio” por meio de um chiller de absorção.

## 2. METODOLOGIA

O estudo compreende a análise energética e econômica de um sistema de cogeração em um shopping center por meio dos seguintes procedimentos:

- Definição de hipóteses e métodos dos cálculos energéticos;
- Análise energética do sistema atual do Shopping;
- Análise energética da solução proposta;
- Análise de viabilidade econômica da solução proposta;

Todas as análises energéticas e econômicas são realizadas no software Engineering Equation Solver® da f-chart e no software Microsoft Office Excel® da Microsoft.

### 2.1. Análise Energética

As leis de conservação termodinâmicas de massa e energia (primeira lei da termodinâmica) são aplicadas para avaliar as interações entre calor e trabalho. (ÇENGEL e BOLES, 2013) (CAROLINO e FERREIRA, 2013).

Nesse estudo, são assumidas algumas hipóteses na análise energética:

- Regime permanente;
- Gases de exaustão ideais;
- Processos de troca de calor isobáricos;
- As condições de operação dos equipamentos foram consideradas nominais e estão apresentadas nos seus catálogos.

## 2.2. Sistema atual

A energia elétrica é necessária no funcionamento como um todo, desde iluminação geral aos aparelhos eletrônicos, e a energia térmica é utilizada para manter o conforto térmico dos frequentadores e para uso geral, como limpeza e funcionamento das cozinhas. As maiores necessidades no empreendimento são energia elétrica e frio, sendo que o calor para uso específico é alimentado de forma local, por meio de fornos e fogões.

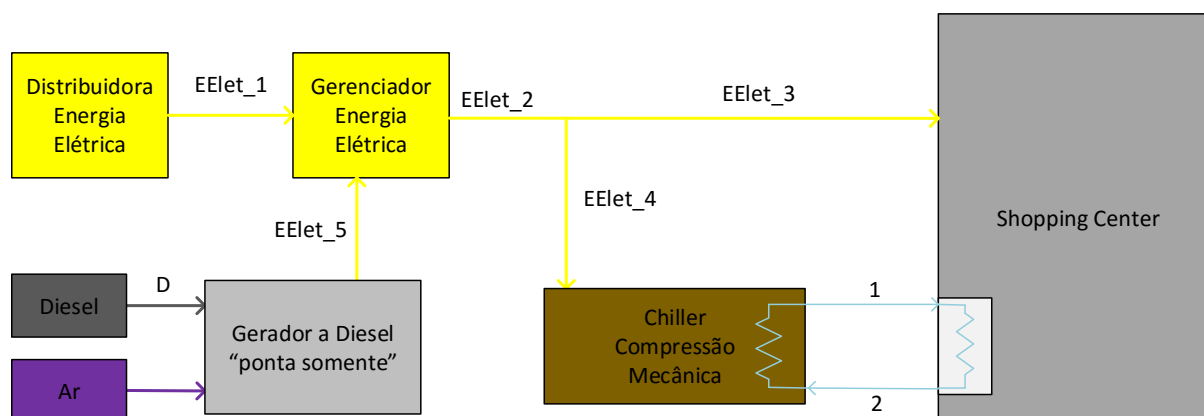
A demanda de eletricidade é obtida por meio de compra no mercado cativo de energia elétrica (distribuidora), nesse caso a CELESC. Além disso, há um conjunto gerador a óleo diesel responsável por gerar parte da demanda durante os horários de pico da distribuição. O frio (energia térmica) é gerado por meio de chillers de compressão mecânica (CM) e então distribuído para o Shopping. Esses são acionados por energia elétrica, logo a climatização depende também do fornecimento por parte da distribuidora de energia. Devido ao risco de queda do sistema de eletricidade e, principalmente, aos reais aumentos seguidos da energia elétrica, o Shopping está à procura de um sistema de geração distribuída que supra suas necessidades com mais segurança e economia. Abaixo é apresentada a demanda energética do shopping.

**Tabela 1. Demanda energética do shopping center analisado.**

|                          |       |      |
|--------------------------|-------|------|
| Demanda elétrica total   | [kWe] | 1630 |
| Demanda elétrica lojas   | [kWe] | 756  |
| Demanda elétrica chiller | [kWe] | 874  |
| Demanda térmica          | [kW]  | 3496 |
|                          | [TR]  | 993  |

A demanda total representa a demanda máxima contratada pelo empreendimento junto a distribuidora, a demanda das lojas a eletricidade utilizada pelo shopping para fins gerais, com exceção de condicionamento de ar. Por fim, a demanda elétrica do chillers representa a eletricidade direcionada para o chillers a fim de suprir a demanda térmica (frio) por meio de chillers de compressão mecânica. Nesse trabalho, o coeficiente de performance (COP) desses chillers foi considerado constante e igual a 4.

Sabe-se que o consumo de Diesel por kWh gerado de eletricidade é de 0,2864 l/kWh, logo pode-se calcular o consumo de combustível para a geração de qualquer quantidade de energia. O seu layout é apresentado no diagrama abaixo.



**Figura 2. Sistema energético atual.**

## 2.3. Sistema de cogeração proposto

A solução proposta visa a melhor utilização dos recursos energéticos do Shopping, além de diminuir os custos com energia elétrica e climatização. Outro objetivo a ser alcançado é a segurança energética, devido às altas nos preços e às recentes falhas na distribuição de energia elétrica.

Nesse sentido, propõe-se um sistema de cogeração operando durante os horários de funcionamento do Shopping (10h às 22h), com um conjunto gerador a gás natural e recuperação de calor pela água de arrefecimento e calor dos gases de exaustão para produzir frio em um chiller de absorção. Devido à natureza do sistema, é oferecido ao Shopping a demanda de água quente para uso geral (cozinha, banheiros, limpeza, entre outros) de 3 m<sup>3</sup>/h. Nos horários de pico, o gerador a óleo Diesel, já presente na planta, será integrado a esse sistema de cogeração, para que forneçam juntos toda a demanda energética necessária ao Shopping para o período. Foi definido que não haverá excedente de energia elétrica cogerada, sendo utilizado o gerador a Diesel para suprir somente a quantidade faltante.

O conjunto gerador utilizado é um motor de combustão interna do fabricante GE Jenbacher, modelo GE JMS 320 GS-N.L., 1063 kW<sub>e</sub> (60Hz), ciclo Otto. Esse foi escolhido devido a sua potência nominal, que supre 65% da demanda elétrica atualmente contratada, de sua eficiência elétrica e global que pode atingir 86,4% e, além disso, esse produto é produzido por uma marca de confiança no mercado de geradores.

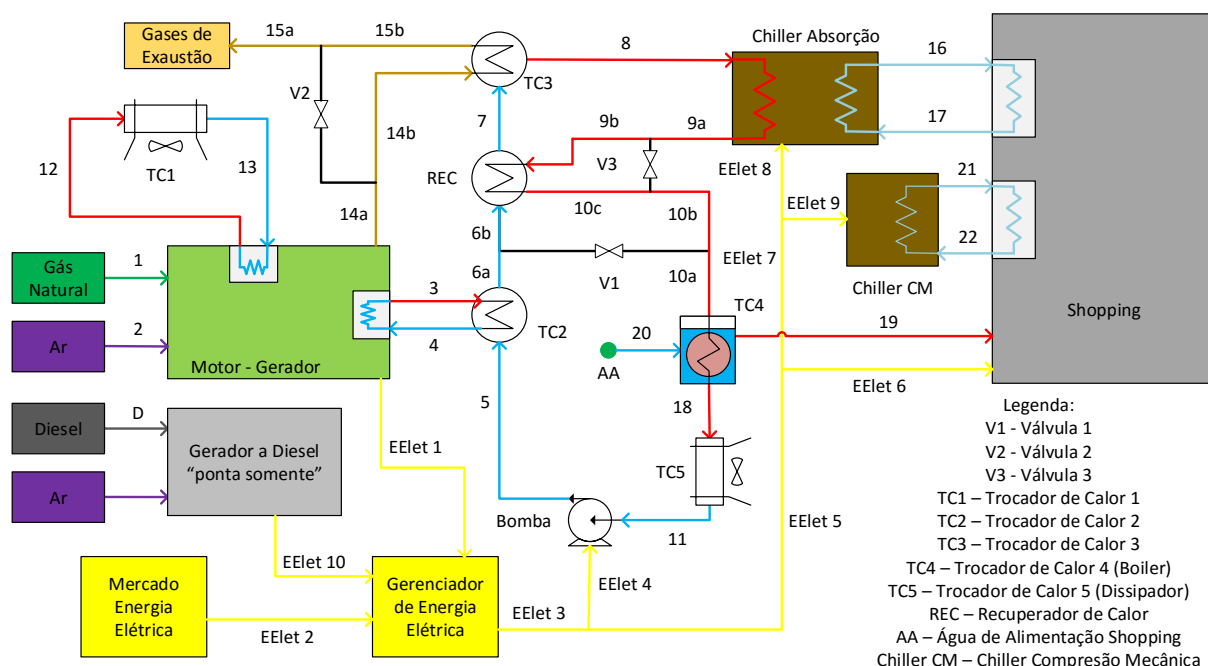
O motor possui dois circuitos de refrigeração: quente e frio. O primeiro dissipa mais calor (aproximadamente 613 kW) e é responsável pelo resfriamento do óleo lubrificante do motor, do primeiro estágio do intercooler e da carcaça do motor, sendo utilizado no sistema de cogeração para fornecer calor. O circuito frio resfria somente o primeiro estágio do intercooler, dissipando menos calor (aproximadamente 76 kW), por isso foi desconsiderado para fins de cogeração. O fluido de trabalho desses circuitos é uma solução aquosa com 37% de etilenoglicol, no entanto, para simplificar os cálculos, foi assumida água em seu lugar.

O chiller de absorção escolhido para o sistema de cogeração foi o modelo de simples efeito de brometo de lítio movido a água quente Carrier 16JLR de 90 TR. O COP do chiller foi considerado constante, 0,73.

O chiller possui restrições quanto a alguns parâmetros da água utilizada em seu ciclo. Ela deve ser tratada, portanto utiliza-se um ciclo de fornecimento de água quente fechado e pressurizado para diminuir o seu desperdício. Os chillers de absorção necessitam de equipamentos adicionais para seu funcionamento como torre de resfriamento, bombas centrífugas da água de resfriamento e de água gelada, tubulações, válvulas entre outros. No entanto, esses sistemas não são analisados com profundidade nesse trabalho.

Na Figura 3 é apresentado um esquema simplificado do sistema proposto. O layout possui 5 trocadores de calor (TC) e um recuperador de calor (REC), sendo que o TC1 não é utilizado para aquecimento do ciclo de cogeração e é resfriado a ar. O TC2, TC4 e REC são trocadores de calor água-água, sendo o TC2 o responsável pelo arrefecimento do motor (óleo, primeiro estágio do intercooler e carcaça do motor) e o TC4 por manter a água quente a 65°C em um tanque para fornecimento ao Shopping. No modelo não são consideradas as perdas térmicas desse tanque e o calor de demanda é necessário para aumentar a temperatura da água de alimentação (AA), estado 20, até 65°C, estado 19. O REC é o responsável pela recuperação do calor do ciclo pós-passagem pelo chiller de absorção. O TC3 é um trocador de calor gás-água, responsável pela recuperação do calor dos gases de exaustão. O TC5 é o dissipador de calor a ar responsável por diminuir a temperatura do estado 18 até 45°C, devido a necessidade de retirar calor do motor por meio do estado 3. O TC1 também cumpre o papel de arrefecimento do motor, nesse caso do segundo estágio do intercooler.

No layout proposto, existe ainda um conjunto de válvulas (V1, V2, V3) funcionando como um by-pass, quando há necessidade de paradas no sistema ou realizar manutenção de partes do ciclo de cogeração, sem necessidade de desligamento do motor a combustão interna. A torre de arrefecimento necessária para rejeitar calor do chiller de absorção não está representada no esquema.



**Figura 3. Sistema de cogeração proposto.**

O sistema de cogeração proposto atenderá parcialmente a demanda energética (energia elétrica e frio) do empreendimento, portanto, ainda será necessário o consumo parcial de energia elétrica fornecida pela distribuidora e a utilização dos chillers de CM, alimentados também por eletricidade para completar a demanda térmica. É importante salientar que, desta forma, quanto maior a capacidade do chiller de absorção em gerar frio, menor a necessidade de utilização dos chillers de CM, resultando em uma menor demanda elétrica dos chillers e menor demanda e consumo comprados da distribuidora. O fornecimento de calor por meio de água quente ( $3 \text{ m}^3/\text{h}$ ) a  $65^\circ\text{C}$  também é incorporado ao layout.

A demanda analisada nesse trabalho para todos as horas de funcionamento representa o máximo contratado, diferente da realidade, onde existem flutuações e demanda menores ao longo do dia. O ciclo de cogeração é considerado em carga total neste estudo. Nos horários de pico, o gerador a Diesel entra em funcionamento em conjunto com o a gás natural, fornecendo toda a demanda elétrica do Shopping nesse período, isto é, não há compra de eletricidade no horário de pico.

Nesse trabalho não é considerada a possibilidade de gerar excedente de energia para venda ou gerar crédito de energia, uma vez que essa geração viria do aumento da demanda ofertada pelo gerador a Diesel e não do sistema de cogeração proposto.

Assumiu-se que o ciclo da cogeração não possui perdas de carga nos componentes, por esse motivo foi considerada, para fins de cálculo de potência da bomba, uma variação de pressão no valor de uma pressão atmosférica,  $101,325 \text{ kPa}$ .

## 2.4. Análise econômica

Nesse trabalho, dois cenários, o atual (sem a cogeração) e o com cogeração, são avaliados. São considerados, também, dois perfis de custos horários (horosazonais verde), sendo os mesmos da análise energética, o horário da ponta (tarifa de energia mais cara) e o fora da ponta. Sendo que os horários da ponta só ocorrem três horas (18h30 as 21h30) por dia útil (segunda a sexta-feira, exceto feriados) e os demais horários de funcionamento do Shopping são considerados fora da ponta.

No horário da ponta, o motor a Diesel é utilizado, portanto os custos energéticos incluem os custos do gás natural (somente no cenário com cogeração), diesel e a energia elétrica adquirida da distribuidora. O gerador a Diesel possui papéis diferentes nos cenários durante o horário da ponta: no atual, esse gerador deve operar em carga máxima, evitando a compra de uma grande quantidade de energia na tarifa mais cara; no com cogeração, o gerador a Diesel tem papel secundário, pois o gerador a gás natural é o que funcionará a toda carga, sendo responsabilidade do gerador a Diesel gerar somente a diferença entre o consumo e o fornecido pelo gerador principal. No horário fora da ponta, somente os custos do gás natural (cenário com cogeração) e eletricidade são computados. As tarifas consideradas são apresentadas na Tabela 2, sendo a de gás natural e Diesel com impostos.

**Tabela 2. Tarifas utilizadas. Fonte: \* (SCGÁS, 2016).**

| Descrição                  | Tarifa              |            |
|----------------------------|---------------------|------------|
| Eletricidade Ponta         | RS/kWh              | 1,4173908  |
| Eletricidade Fora da Ponta | RS/kWh              | 0,3816292  |
| Demanda                    | RS/kW               | 12,4447926 |
| Bandeira Tarifária - BT    | RS/kWh              | 0,045      |
| Gás Natural *              | R\$/Nm <sup>3</sup> | 1,3708     |
| Diesel                     | R\$/l               | 2,503      |

\* TG1 SCGás 50.001 a 100.000 m<sup>3</sup>/mês

Nessa análise foram considerados 345 dias por ano de funcionamento do sistema de cogeração, sendo os outros 20 utilizados para a manutenção programada. Desses dias, 242 são dias úteis e 103 dias de final de semana. Diariamente, o shopping opera 12 horas por dia, sendo 3 horas de ponta e 9 fora de ponta.

Adicionado a esses custos variáveis, existem os custos de manutenção, os quais foram divididos em duas parcelas, o do gerador a Diesel e o dos sistemas em geral. Ambos foram mantidos para o cenário proposto, sendo que o primeiro possui um custo de R\$ 3.500,00 mensais (R\$ 42.000,00 anuais) e o segundo, de R\$ 5.000,00 mensais (R\$ 60.000,00 anuais), esse último acrescido para R\$ 7.000,00 mensais (R\$ 84.000,00 anuais) por causa da utilização do chiller de absorção, justificando uma manutenção mais cara.

Foram adicionados, ainda, os custos com os sistemas auxiliares (torre de resfriamento e seu ventilador, água de alimentação e seu tratamento para o ciclo, eletricidade das bombas hidráulicas, entre outros) e contingências. O primeiro foi considerado de valor anual de R\$ 120.000,00 para o cenário atual e R\$180.000,00 para o com cogeração e o segundo de R\$120.000,00 e R\$150.000,00, respectivamente.

A água quente, no entanto, não era considerada no cenário atual, logo foi assumido que os gastos com água quente são realizados localmente (cozinha, limpeza) e que se utiliza gás natural para esse fim. O custo final da água quente neste cenário refere-se à quantidade de gás natural necessária para oferecer a mesma quantidade de calor ao Shopping.

Os Custos de Operação anuais dos cenários podem, então, ser calculados pela soma dos custos anuais do Diesel, Gás Natural, eletricidade e o total de manutenção anual em cada cenário. Dessa forma, calcula-se o retorno financeiro anual esperado com a mudança do sistema, ou seja, a diferença entre os custos de operação anuais dos cenários atual e com cogeração.

Além desses custos ao longo do tempo, tem-se ainda o capital de investimento, o qual foi considerado gasto totalmente no início da operação e sintetizado entre os custos dos trocadores de calor, chiller de absorção e conjunto gerador a gás natural. Esses custos foram assumidos por meio das relações apresentadas por BARBOSA, FONTES, et al., 2009.

Para a análise de investimento são realizados os cálculos de Valor Líquido Presente (VPP), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno de capital investido (payback) conforme BEJAN et al. (1996) e BLANK (2008).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Análise Energética

Os fluxos energéticos dos dois cenários foram resumidos em tabelas.

Na Tabela 3, pode-se perceber a redução do consumo de energia elétrica da distribuidora no horário de pico pelo uso do gerador a Diesel, no entanto necessita-se da análise econômica para obter resultados acerca do custo que o horário de ponta ainda representa.

**Tabela 3. Fluxos energéticos do cenário atual.**

| Corrente Energética | Horário                  |               |
|---------------------|--------------------------|---------------|
|                     | Ponta                    | Fora da Ponta |
| EElet 1             | 434 kW                   | 1630 kW       |
| EElet 2             | 1630 kW                  |               |
| EElet 3             | 756 kW                   |               |
| EElet 4             | 874 kW                   |               |
| EElet 5             | 1196 kW                  | 0             |
| D                   | 0                        | 342,5 l/h     |
| 1*                  | 7°C; 167 kg/s; 800 kPa;  |               |
| 2*                  | 12°C; 167 kg/s; 800 kPa; |               |

\* Fornecidos por múltiplos Chillers CM

No cenário com cogeração, Tabela 4, a eletricidade consumida proveniente da distribuidora é zerada no horário de ponta, ou seja, toda energia é fornecida pelo gerador a gás natural e complementada pelo gerador a Diesel. A eletricidade gerada pelo gerador a gás natural representa 67,6% da demanda elétrica total nesse cenário, enquanto que a distribuidora (fora da ponta) e o gerador a Diesel (ponta) representam 32,4%. O chiller de absorção foi responsável direto pela diminuição da demanda elétrica original (1630 kW) em 58 kW (3,6% do original), resultando em uma demanda final de 1572 kW.

**Tabela 4. Fluxos Elétricos no cenário com cogeração.**

| Corrente Elétrica | Potência (kW) |               |
|-------------------|---------------|---------------|
|                   | Ponta         | Fora da Ponta |
| EElet 1           |               | 1063,0        |
| EElet 2           | 0,0           | 509,3         |
| EElet 3           |               | 1572,3        |
| EElet 4           |               | 0,7           |
| EElet 5           |               | 1571,6        |
| EElet 6           |               | 756,0         |
| EElet 7           |               | 815,6         |
| EElet 8           |               | 4,0           |
| EElet 9           |               | 811,6*        |
| EElet 10          | 509,3         | 0,0           |

\* Fornecidos para múltiplos Chillers CM

Na Tabela 5, é possível analisar a temperatura, pressão e fluxos de massa de todos os estados do ciclo de cogeração, atentando-se ao fato da necessidade de redução da temperatura dissipando calor entre os estados 18 e 11, no TC5.

**Tabela 5. Estados dos fluxos de gases e água do sistema de cogeração.**

| Corrente | Temperatura (°C) | Pressão (kPa) | Fluxo de massa                        | Descrição                            |
|----------|------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1        | 25               | 101,325       | 0,0622 kg/s; 274 Nm <sup>3</sup> /h * | Gás Natural                          |
| 2        | 25               | 101,325       | 1,507 kg/s; 4249 Nm <sup>3</sup> /h * | Ar de Combustão Gás Natural          |
| 3        | 90*              | 500,000**     | 8,014 kg/s; 29,5 m <sup>3</sup> /h *  | Água de Arrefecimento / Antes do TC2 |
| 4        | 70*              | 500,000**     |                                       | Água de Arrefecimento / Após TC2     |
| 5        | 45               | 500,000**     | 7,046 kg/s; 27,0 m <sup>3</sup> /h *  | Após bomba / Antes do TC2            |
| 6        | 67,81            | 500,000**     |                                       | Após TC2 / Antes do REC              |
| 7        | 72,82            | 500,000**     |                                       | Após REC / Antes do TC3              |
| 8        | 91,55            | 500,000**     |                                       | Após TC3 / Antes do Chiller Absorção |
| 9        | 80*              | 500,000**     |                                       | Após Chiller Absorção / Antes REC    |
| 10       | 75               | 500,000**     |                                       | Após REC / Antes do TC4              |
| 11       | 45               | 500,000**     |                                       | Após TC5 / Antes da Bomba            |
| 12       | 52,5*            | 202,650       | 6,862 kg/s; 25,0 m <sup>3</sup> /h *  | Antes do TC1                         |
| 13       | 50*              | 202,650       |                                       | Após TC1                             |
| 14       | 427*             | 101,325       | 1,569 kg/s; 4523 Nm <sup>3</sup> /h * | Gases de Exaustão / Antes do TC3     |
| 15       | 118,9            | 101,325       |                                       | Gases de Exaustão / Após TC3         |
| 16       | 7*               | 800,000       | 11,92 kg/s; 42,9 m <sup>3</sup> /h    | Água Gelada / Após Chiller Absorção  |
| 17       | 12*              | 800,000       |                                       | Água Gelada / Antes Chiller Absorção |
| 18       | 70,63            | 500,000**     | 7,046 kg/s; 27,0 m <sup>3</sup> /h *  | Após TC4 / Antes do TC5              |
| 19       | 65               | 200,000       | 0,8171 kg/s; 3,0 m <sup>3</sup> /h    | Água Quente / Após TC4               |
| 20       | 25               | 200,000       |                                       | Água de Alimentação / Antes do TC4   |
| 21       | 7*               | 800,000       | 155,1 kg/s; 558,7 m <sup>3</sup> /h   | Água Gelada / Após Chiller CM        |
| 22       | 12*              | 800,000       |                                       | Água Gelada / Antes Chiller CM       |
| D        | 25               | 101,325       | 147,5 l/h                             | Diesel                               |

Obs. Todos os fluxos divididos pelos bypass são considerados como um só e representados somente pelo número do estado

\* Valor retirado do catálogo

\*\* Valor assumido por meio de informações do catálogo

### 3.2. Análise Econômica

Os resultados são apresentados nas duas tabelas a seguir.

**Tabela 6. Resultados econômicos do sistema de cogeração.**

| Custo Descrito                           | Cenário          |                   |                  |                   | Variação          |              |                    |              |
|------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------------|--------------|
|                                          | Atual            |                   | Cogeração        |                   | Consumido         |              | Valor (R\$)        |              |
|                                          | Consumido        | Valor (R\$)       | Consumido        | Valor (R\$)       | Absoluto          | Relativo     | Absoluto           | Relativo     |
| <b>Energia Elétrica - total (kWh)</b>    | <b>5879904,0</b> | <b>3078310,79</b> | <b>1738028,2</b> | <b>817519,59</b>  | <b>-4141875,8</b> | <b>-70%</b>  | <b>-2260791,2</b>  | <b>-73%</b>  |
| Consumo Energia - total (kWh)            | 5879904,0        | 2570294,96        | 1738028,2        | 663282,31         | -4141875,8        | -70%         | -1907012,7         | -74%         |
| Demanda - total (kW)                     | 1630,0           | 243420,14         | 509,1            | 76026,01          | -1120,9           | -69%         | -167394,1          | -69%         |
| Bandeira Tarifária - total (kWh)         | 5879904,0        | 264595,68         | 1738028,2        | 78211,27          | -4141875,8        | -70%         | -186384,4          | -70%         |
| Energia Elétrica - p (kWh)               | 315084,0         | 460775,94         | 0,0              | 0,00              | -315084,0         | -100%        | -460775,9          | -100%        |
| Consumo Energia - p (kWh)                | 315084,0         | 446597,16         | 0,0              | 0,00              | -315084,0         | -100%        | -446597,2          | -100%        |
| Bandeira Tarifária - p (kWh)             | 315084,0         | 14178,78          | 0,0              | 0,00              | -315084,0         | -100%        | -14178,8           | -100%        |
| Energia Elétrica - fp (kWh)              | 5564820,0        | 2374114,70        | 1738028,2        | 741493,58         | -3826791,8        | -69%         | -1632621,1         | -69%         |
| Consumo Energia - fp (kWh)               | 5564820,0        | 2123697,80        | 1738028,2        | 663282,31         | -3826791,8        | -69%         | -1460415,5         | -69%         |
| Bandeira Tarifária - fp (kWh)            | 5564820,0        | 250416,90         | 1738028,2        | 78211,27          | -3826791,8        | -69%         | -172205,6          | -69%         |
| <b>Gás Natural (Nm³)</b>                 | <b>0,0</b>       | <b>0,00</b>       | <b>1134360,0</b> | <b>1554980,69</b> | <b>1134360,0</b>  | <b>-</b>     | <b>1554980,7</b>   | <b>-</b>     |
| <b>Gás Natural - Água Quente (Nm³) *</b> | <b>52927,4</b>   | <b>72552,81</b>   | <b>0,0</b>       | <b>0,00</b>       | <b>-52927,4</b>   | <b>-100%</b> | <b>-72552,8</b>    | <b>-100%</b> |
| <b>Diesel total (litros)</b>             | <b>248666,9</b>  | <b>664413,32</b>  | <b>105847,4</b>  | <b>306936,02</b>  | <b>-142819,5</b>  | <b>-57%</b>  | <b>-357477,3</b>   | <b>-54%</b>  |
| Diesel consumido (litros)                | 248666,9         | 622413,32         | 105847,4         | 264936,02         | -142819,5         | -57%         | -357477,3          | -57%         |
| Manutenção Diesel                        | -                | 42000,00          | -                | 42000,00          | -                 | -            | 0,0                | 0%           |
| Diesel consumido - p (litros)            | 248666,9         | 622413,32         | 105847,4         | 264936,02         | -142819,5         | -57%         | -357477,3          | -57%         |
| Diesel consumido - fp (litros)           | 0,0              | 0,00              | 0,0              | 0,00              | 0,0               | -            | 0,0                | -            |
| <b>Manutenção Geral</b>                  | <b>-</b>         | <b>60000,00</b>   | <b>-</b>         | <b>84000,00</b>   | <b>-</b>          | <b>-</b>     | <b>24000,0</b>     | <b>40%</b>   |
| Custo Total de Energia Elétrica          | -                | 3078310,79        | -                | 817519,59         | -                 | -            | -2260791,2         | -73%         |
| Custo Total de Combustíveis              | -                | 694966,13         | -                | 1819916,71        | -                 | -            | 1124950,58         | 162%         |
| Custo Total de Manutenção                | -                | 102000,00         | -                | 126000,00         | -                 | -            | 24000              | 24%          |
| <b>Custo Total de Operação Anual</b>     | <b>-</b>         | <b>3875276,92</b> | <b>-</b>         | <b>2763436,30</b> | <b>-</b>          | <b>-</b>     | <b>-1111840,62</b> | <b>-29%</b>  |

Obs. Todos os custos são descritos em períodos anuais.

p - horário de ponta

fp - horário fora da ponta

\* Estimativa de gás economizado

O retorno anual calculado é de aproximadamente de 1,0 milhão de reais. A análise de investimento é apresentada abaixo.

**Tabela 7. Análise de investimento financeiro no sistema de cogeração.**

| Descrição                | Resultado  |
|--------------------------|------------|
| Retorno financeiro (R\$) | 1021359,25 |
| i (% a.a.)               | 14,15%     |
| n (anos)                 | 20,00      |
| VP (R\$)                 | 6706518,11 |
| Investimento (R\$)       | 5156099,31 |
| VPL (R\$)                | 1550418,80 |
| TIR (% a.a.) nominal     | 19,2%      |
| TIR (% a.a.) real        | 4,4%       |
| Payback simples (anos)   | 5,1        |

O investimento é considerado atrativo sendo a TIR superior à taxa SELIC atual (14,15%) (BCB, 2016), o VPL positivo e o payback simples de 5 anos.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisados os aspectos técnicos e econômicos de um sistema de cogeração a gás natural aplicado a um centro comercial típico da cidade de Florianópolis-SC. A partir da análise de pré-viabilidade econômica pode-se constatar que o retorno financeiro é representativo para essa aplicação e o tempo de payback é de aproximadamente 5 anos. Apesar dos bons resultados, esta análise foi realizada com as cargas máximas de eletricidade e frio de um shopping, sendo desconsideradas as variações de eficiências dos equipamentos. Portanto, para uma definição final, necessita-se de uma análise horária do sistema de cogeração e a possibilidade de utilização de outros modelos dos equipamentos.

Ressalta-se, além dos ganhos econômicos, a diminuição em 70% da dependência elétrica do empreendimento com a distribuidora elétrica, o que diminui riscos de falhas no sistema, como os ocorridos recentemente no país.

O sistema de cogeração proposto possui eficiência suficiente para ser qualificado nos parâmetros definidos pela ANEEL, logo poder-se-á utilizar o sistema de crédito energético ou vender os excedentes energéticos, tópico não analisado nesse trabalho e que deverá aumentar ainda mais a viabilidade econômica do sistema.

#### 5. REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. R. F. et al. UMA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA COGERAÇÃO COM TERMOACUMULAÇÃO APLICADA AO SETOR TERCIÁRIO. 9º Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, p. Área temática: Energia, 2009.

BCB. Consulta à Taxa Selic Diária. Banco Central do Brasil, 01 fevereiro 2016. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdia.asp>>.

BEJAN, A.; TSATSARONIS, G.; MORAN, M. Thermal Design & Optimization. [S.l.]: Wiley, 1996.

BLANK, L. T. Engenharia Econômica. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

BRITO, O. D. et al. REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO E MUNICÍPIOS ESCOLHIDOS LEVANTAMENTO DO POTENCIAL DE MERCADO DE CO-GERAÇÃO. Associação Fluminense de Co-geração de Energia - COGEN RIO. Rio de Janeiro. 2007.

CAROLINO, C. G.; FERREIRA, J. P. M. First and second law analyses to an energetic valorization process of biogas. Renewable Energy 59, p. 58-64, 2013.

CARRIER. 16JL 16JLR Lithium Bromide Absorptiond Chiller. Carrier. [S.l.], p. 20. s. d.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. Termodinâmica. Brasil: McGraw Hill, 2013.

EPE. Consumo anual de energia elétrica por classe (nacional) – 1995-2014. Empresa de Pesquisa Energética. [S.l.]. 2014.

EPE. Estimativa da Capacidade Instalada de Geração Distribuída no SIN: Aplicações no Horário de Ponta. Série RECURSOS ENERGÉTICOS, Fevereiro 2015.

EPE. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2015 - Ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética. [S.l.]. 2015a.

EPE. NOTA TÉCNICA DEA 03/15 Projeção da demanda de energia para os próximos 10 anos (2015-2024). Empresa de Pesquisa Energética. [S.l.]. 2015b.

GAZETA DO POVO. Brasil enfrenta longo histórico de apagões. Gazeta do Povo, 2014. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/brasil-enfrenta-longo-historico-de-apagoes-ej5hm4ebkkw32whaxo2kylydq>>.

GE. JMS 320 GS - N.L. Jenbacher Gas Engine. Technical Specification. General Electric. [S.l.]. 2016a.

GE. JGC 320 GS-L.L – for information. General Electric. [S.l.]. 2016b.

INEE. UMA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA INADEQUADA. Seminário Geração Distribuída, Impactos e Perspectivas. [S.l.]: Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE. 2016.

MME. Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar. Ministério de Minas e Energia (MME), 03 janeiro 2015. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset\\_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030](http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030)>.

SCGÁS. Tarifa Industrial - TG1. SCGás, 25 jan. 2016. Disponível em: <<http://www.scgas.com.br/site/industrial/conteudos/tg1>>.

SZKLO, A. S.; SOARES, J. B.; TOLMASQUIM, M. T. Economic potential of natural gas-fired cogeneration in Brazil: two case studies. Applied Energy 67, p. 245-263, 2000.

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A. S.; SOARES, J. B. Economic potential of natural gas fired cogeneration plants at malls in Rio de Janeiro. Energy Conservation and Management, p. 663-674, 2001.

#### 6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

## ENERGETIC AND ECONOMIC ANALYSIS OF A COGENERATION SYSTEM APPLIED TO A SHOPPING CENTER

Alexandre Schmidt Ferreira, alexandresfe@gmail.com<sup>1</sup>

Julian Esteban Barrera, jebarrerat@gmail.com<sup>1</sup>

Edson Bazzo, e.bazzo@ufsc.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, R. Eng. Agrônomo Andrei Cristian Ferreira, s/n, Florianópolis, 99040-900

**Abstract.** *This work presents a technical and economic analysis of a cogeneration system applied to a mall at Grande Florianópolis region, Brazil. The aim of the system is to ensure energy safety and to reduce operational energy costs. The power and thermal demands at the mall are evaluated from energy bills, besides research in some malls of the region. The current scheme is first evaluated and afterwards a new layout is proposed. The new cogeneration power plant has an engine running by natural gas with heat recovery by water jacket and exhaust gases to feed an absorption chiller. A Diesel generator, already placed in the building, turns on only during the energy network's peak hours. In this scenario, the consumed electricity from the energy distributor is set to zero at the peak hour, which means that all the energy is given by the natural gas generator and supported by the Diesel generator. The gas generator's electricity represents 67,6% of the total demand of energy in this scenario, whereas the distributor (off-peak) and the Diesel generator (peak) represent 32,4%. The absorption chiller was directly responsible for the decrease of the original electrical demand (1630 kW) in 58 kW (3,6% of the original), resulting in a final demand of 1572 kW. Then, the global and the Brazilian qualified efficiency is calculated, with the system meeting the qualification. The economic analysis is assessed: operational costs and the annual financial return are calculated, along with the annual financial return, for the actual and proposed layout. The cogeneration system causes a reduction of 70% of the electrical energy consumption from the energy distributor, aside from 73% (2,2 millions of reais) of the value paid. However it increases the demand for natural gas (1,5 million of reais, approximately), also provokes a decrease of 57% in the consumption of Diesel for generating energy. The total annual operational costs of the current and the proposed plant were assessed, respectively, in 4,11 and 3,09 millions of reais (25% less). Therefore, the annual financial return is fixed in 1,0 million reais for this investment. Using the Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV) and Payback methods, the cogeneration systems is evaluated as an attractive investment.*

**Keywords:** cogeneration, energy conservation, distributed generation, economical assessment.