

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Modelagem energética e análise de viabilidade econômico-financeira de um sistema de resfriamento distrital por cogeração de água gelada e eletricidade

Giuliano Akira Goto de Mello

São Paulo
2017

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Modelagem energética e análise de viabilidade econômico-financeira de um sistema de resfriamento distrital por cogeração de frio e eletricidade

Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia

Giuliano Akira Goto de Mello

Orientador: Alberto Hernandez
Neto

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo

2017

Catalogação-na-publicação

Mello, Giuliano Akira Goto de

Modelagem energética e análise de viabilidade econômico-financeira de
um sistema de resfriamento distrital por cogeração de água gelada e
eletricidade / G. A. G. Mello -- São Paulo, 2016.

63p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Resfriamento Distrital 2.Refrigeração 3.Climatização 4.Cogeração
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

O trabalho presente traz um primeiro passo no estudo do desenvolvimento de sistemas de refrigeração distrital. A tecnologia, ainda recente no Brasil, é analisada sob os aspectos termodinâmicos e, posteriormente, associada a uma ótica econômica e financeira para a determinação de uma possível viabilidade de projeto a ser desenvolvida em território nacional. É feita uma revisão bibliográfica, referindo estudos já feitos em outros países e traduzindo para o cenário brasileiro. Com o auxílio de modelos matemáticos e físicos, o objetivo deste texto é fazer análises primordiais para compreensão das vantagens e desvantagens do resfriamento distrital e, assim, avaliar do aspecto econômico se a nova tecnologia será atrativa comparada ao sistema individual de refrigeração que é utilizado atualmente. O estudo permite concluir que o resfriamento distrital pode ser um modelo mais eficiente que o atual e economizar grandes quantidades de energia.

ABSTRACT

This work represents a first step into studying the development of district cooling systems. The technology, still recent in Brazil, is analyzed under thermodynamic aspects of its content and, eventually, by the point of view of economical and financial aspects to qualify its project feasibility to be implemented in national territory. Through a review of the international scenario, recurring to studies already made in other countries this report will transport what already exists to the Brazilian reality. With the help of mathematical and physical models, the main goal of this study is to make primary analysis to understand what configurations the district cooling needs to assume to adapt itself to its development in Brazil and if it is economically viable comparing to the regular individual refrigeration systems. The study is capable to show that district cooling might be an efficient alternative model to save huge amounts of energy.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Apresentação dos diferentes tipos de construções e número presente na região	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3.2 - Divisão dos hospitais em segmentos menores de acordo com suas funções.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3.3 - Caracterização dos condomínios. Erro! Indicador não definido.	
Tabela 3.4 - Relação do tipo de construção com o uso típico apresentado no s3e	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3.5 - Consumo energético por tipo de construção Erro! Indicador não definido.	
Tabela 4.1 - Determinação das horas de funcionamento do sistema em cada mês	Erro! Indicador não definido.
Tabela 4.2 - Carga de Refrigeração de cada condomínio Erro! Indicador não definido.	
Tabela 4.3- Mapa de distribuição da tubulação de frio ... Erro! Indicador não definido.	
Tabela 4.4 - Carga bruta média mensal da soma de todos os condomínios	Erro! Indicador não definido.
Tabela 5.1 - Especificações do resfriador de absorção AART-250I.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 5.2 - Tabela da Copergás de tarifas de gás canalizado para clientes de cogeração e energia (2016)	Erro! Indicador não definido.
Tabela 5.3 - Tabela utilizando preços de equipamentos com preço aberto em mercado para estimar o preço dos equipamentos utilizados neste problema (Alibaba,2016).....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 6.1 - Série histórica do IGP-M desde 2000 até 2015 (Banco Central, 2016).....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 6.2 - Listagem de Custos e Receitas de projeto . Erro! Indicador não definido.	
Tabela 6.3 - Descrição em tabela da Fig. 6.2, detalhando o fluxo de caixa ano a ano	Erro! Indicador não definido.
Tabela 6.4 - Teste de sensibilidade ao preço da energia elétrica no caso COM resfriamento distrital.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 6.5 - Teste de sensibilidade ao preço da energia elétrica no caso SEM resfriamento distrital.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela A.1 - Lista de construções na área do Treze de Maio incluindo número de andares, área do andar estimada e área total Erro! Indicador não definido.	

Tabela A.2 - Relação entre construções e seu consumo de acordo com seu tipo	62
---	----

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Ar condicionado do tipo split.....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 1.2 - Saída da tubulação de um sistema de ar condicionado central**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 1.3 - Resfriamento distrital implantado pela Light Esco, no condomínio empresarial Rio Oficce Park, na Barra da Tijuca.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2.1 - CCHP esquematizado na forma básica..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3.1 - Região entre a Av. Paulista, R. Carlos Sampaio e R. Treze de maio a ser analisada.....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3.2 - Visão ilustrativa sobre o mapa oferecido pelo Google delimitando as regiões dos condomínios**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3.3 - Etiqueta de eficiência energética do projeto, simulando o selo da Inmetro.....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3.4 - Divisão por setor de consumo**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3.5 - Distribuição de consumo por mês e setor.... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3.6 - Resumo numérico da quantidade de energia consumida anualmente e geração de referências-exemplo para convergência de valores**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4.1 - Base de dados climáticos de São Paulo/Congonhas oferecida pela NASA**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4.2 - Esquema de projeto de rede de distribuição de frio**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5.1 - Curva de carga de ponta energética necessária para cobrir a demanda no caso do sistema individual de refrigeração **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5.2 - Curva de carga de ponta energética necessária para cobrir a demanda no caso do sistema de refrigeração distrital.... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6.1 - Projeção Meta SELIC (taxa basal de juros da nação) para 2017**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6.2 - Fluxo de Caixa projetado do resfriamento distrital considerando inflação de 11,49% a.a.**Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE EQUAÇÕES

(1)Preço da Eletricidade	24
(2)Graus-dia para um mês	Erro! Indicador não definido.
(3)Graus-dia máximo possível para um mês .	Erro! Indicador não definido.
(4)Fração de operação	Erro! Indicador não definido.
(5)Carga específica de refrigeração.....	Erro! Indicador não definido.
(6)Carga média mensal bruta de eletricidade	Erro! Indicador não definido.
(7)Carga de ponta de frio	Erro! Indicador não definido.
(8)Demanda de frio anual	Erro! Indicador não definido.
(9)Custo anual total de frio.....	Erro! Indicador não definido.
(10)Comprimento de linhas primárias de distribuição de frio	Erro! Indicador não definido.
(11)Comprimento de linhas secundárias de distribuição de frio	Erro! Indicador não definido.
(12)Custo total da rede de distribuição de frio.....	31
(13)Custo das linhas primárias da rede de distribuição de frio.....	31
(14) Custo das linhas secundárias da rede de distribuição de frio.....	32
(15)Custo da estação de transferência de energia da distribuição de frio.	32
(16)Demanda de energia elétrica anual.....	Erro! Indicador não definido.
(17)Custo anual total de energia elétrica	Erro! Indicador não definido.
(18)Lucro operacional anual	38
(19)Rendimento de cogeração	40

LISTA DE FÓRMULAS

A_i – Área de um condomínio [m^2]

C_i – Carga específica de um condomínio [$\frac{W}{m^2}$]

C_p – Carga de ponta do sistema [kW]

Co_{esp_i} – Consumo específico de frio de um condomínio [$\frac{kWh}{m^2}$]

Co_f – Consumo mensal de frio [$MWh/mês$]

Co_{ano} – Consumo anual total de frio [MWh/ano]

Cu_f - Custo total anual de frio [$\frac{R\$}{ano}$]

h_{fp} - Horas anuais que o sistema opera fora do horário de ponta [h]

h_p - Horas anuais que o sistema opera dentro do horário de ponta [h]

h_u – Horas úteis de operação do sistema de refrigeração [h]

h_{ui} – Horas úteis mensais de operação do sistema de refrigeração [h]

$h_{mês}$ – Horas totais de um mês [h]

h_{ano} – Horas totais de um ano [h]

$n_{\frac{dia}{mês}}$ – Número de dias de cada mês [adim.]

COP – Coeficiente de performance do sistema de cogeração [adim.]

β_i – Fração de operação baseado nos graus-dia [adim.]

$GD_{mês_i}$ – Graus-dia de um mês [$^{\circ}C.dia$]

$GD_{mês_{max_i}}$ – Graus-dia máximo possível para o mês [$^{\circ}C.dia$]

p – Preço de eletricidade por consumo [$\frac{R\$}{kWh}$]

$p_{dist_{D_f}ponta}$ – Preço de eletricidade pelo uso da rede de distribuição por demanda fora de horário de ponta [$\frac{R\$}{kW}$]

$p_{dist_{D_p}ponta}$ – Preço de eletricidade pelo uso da rede de distribuição por demanda em horário de ponta [$\frac{R\$}{kW}$]

$p_{dist_{C_f}ponta}$ – Preço de eletricidade pelo uso da rede de distribuição por consumo fora de horário de ponta [$\frac{R\$}{kWh}$]

$p_{distc_{ponta}}$ – Preço de eletricidade pelo uso da rede de distribuição por consumo em horário de ponta [$\frac{R\$}{kWh}$]

$p_{cons_{fponta}}$ – Preço de eletricidade por consumo de energia fora do horário de ponta

$p_{cons_{ponta}}$ – Preço de eletricidade por consumo de energia em horário de ponta

C_{EE_B} – Carga média mensal de energia elétrica [kW]

γ – Porcentagem de carga de ponta acima da média mensal [adim.]

$C_{EE_{annual}}$ – Carga de pico anual de energia elétrica [kW]

Co_{EE} – Consumo de energia elétrica [MWh/mês]

$Co_{EE_{ano}}$ – Consumo de energia elétrica [MWh/ano]

Cu_{EE} – Custo total anual de energia elétrica [$\frac{R\$}{ano}$]

$De_{RI_{ano}}$ – Demanda anual total de energia no sistema de resfriamento individual [MWh/ano]

$De_{RD_{ano}}$ – Demanda anual total de energia no sistema de resfriamento distrital [MWh/ano]

T_{ret} – Temperatura de retorno de água gelada [°C]

T_{forn} – Temperatura de fornecimento de água gelada [°C]

T_{resf} – Temperatura para projeto de resfriamento [°C]

T_{aq} – Temperatura para projeto de aquecimento [°C]

T_m – Temperatura média mensal [°C]

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	VISÃO GERAL DO DISTRICT COOLING	4
2.1	O CCHP	4
2.2	Saídas	5
3.	PERFIL DE DEMANDA	6
3.1	Definição da região a ser estudada.....	6
3.2	Caracterização da região estudada.....	7
3.2.1	Divisão em condomínios.....	9
3.3	Simulação de consumo no S3E	11
4.	METODOLOGIA UTILIZADA NO <i>RETSCREEN</i> PARA O MODELO ENERGÉTICO	18
4.1	Objetivo com a ferramenta (saídas)	18
4.2	Ajustes Iniciais.....	21
4.3	Dados de Entrada	23
4.3.1	Projeto de refrigeração	23
4.3.2	Rede de distribuição de frio do caso proposto.....	23
4.3.3	Projeto de produção de eletricidade	24
4.4	Metodologia e Hipóteses adotadas para encontrar os valores de entrada	24
4.4.1	Projeto de Refrigeração.....	24
4.4.2	Rede de Distribuição de Frio	32
4.4.3	Projeto de Produção de Eletricidade	33
5.	RESULTADOS	35
5.1	Projeto de Refrigeração.....	35
5.2	Rede de Distribuição de Frio	35
5.3	Projeto de Produção de Eletricidade	37
5.4	Escolha de Equipamentos.....	38
5.4.1 –	Produção de Frio	38
5.4.2 –	Produção de Energia Elétrica	40
5.5	Enumeração de Custos	41
5.5.1 –	Custo com combustíveis para a produção de Energia Elétrica.	41
5.5.2 –	Custo com combustíveis para a produção de Frio.....	43

5.5.3 – Custo com equipamentos	43
6. ANÁLISE FINANCEIRA	47
6.1 Hipóteses Macroeconômicas	47
6.2 Fluxo de Caixa Simplificado	50
6.3 Teste de Sensibilidade ao Preço da Energia Elétrica.....	52
7. CONCLUSÃO	55
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
A. ANEXO DE TABELAS	60

1. INTRODUÇÃO

Resfriamento Distrital ou *District Cooling* é um novo método de configuração de sistemas de refrigeração e energia, como apresentado por PINHEIRO (2014). De acordo com MACDOWALL (2006), atualmente, um dos tipos mais comuns de ar condicionado para abastecimento de um edifício são aqueles do tipo *split*, que são adquiridos individualmente para cada apartamento ou escritório, fixados à parede, operando independentemente uns dos outros, assim como na Fig. 1.1. Também é comum o uso de sistemas centrais de ar condicionado (Fig. 1.2), com uma tubulação que circula por todas as partições da construção, distribuindo ar através de um sistema único. É geralmente instalado em shoppings, centros comerciais e hospitais, onde há um grande fluxo de pessoas e muitos equipamentos eletrônicos que necessitam de uma temperatura baixa para manter seu desempenho. Em alguns desses edifícios pode-se observar um maquinário ruidoso em seus estacionamentos, onde estão localizadas as torres de resfriamento, responsáveis pela dissipação do calor da água circulante.



Figura 1.1 - Ar condicionado do tipo *split*



Figura 1.2 - Saída da tubulação de um sistema de ar condicionado central

O resfriamento distrital baseia-se na ideia de substituir o fornecimento individual de água gelada de cada edificação de uma determinada região conglomerada (condomínio, complexo de negócios, quarteirão) por um fornecimento único, gerado por uma unidade central responsável pelo abastecimento de todos os prédios da região escolhida para ser atendida pelo sistema de resfriamento distrital.

A concepção do *district cooling* não é tão recente, já existindo desde os anos 80 [STRUCTURE, 2014], porém a sua dispersão pelo mundo é um fenômeno da última década. No Brasil, existe apenas uma instalação desse tipo, mas nos Estados Unidos já existem mais de 500. Sua versão focada para países frios, o *district heating* ou aquecimento distrital, já está presente em mais de 95% dos domicílios na Islândia e em 60% dos domicílios da Dinamarca [FRONING, 2003].



Figura 1.3 - Resfriamento distrital implantado pela Light Esco, no condomínio empresarial Rio Office Park, na Barra da Tijuca

O principal paradigma envolvendo a implementação desse sistema é a viabilidade e rentabilidade econômica. Substituir todo o aparato instalado nos diversos blocos de cada edifício e criar um sistema totalmente novo requer um investimento inicial altíssimo (60 euros/MWh) [PORTAL ENGENHARIA, 2014], por isso um retorno se faz necessário no menor tempo possível. Pinheiro (2014) estipulou que, em média, o prazo de retorno é de 3 a 4 anos, quando o valor da energia economizada supera o custo de investimento total, este último podendo ser considerado um fator limitante para a realização de projetos de resfriamento distrital.

Para a análise completa de viabilidade, primeiro é necessário levantar um perfil de demanda energética efetivo dos prédios envolvidos para então elaborar um modelo satisfatório que simule as condições de operação de um sistema de resfriamento distrital.

2. VISÃO GERAL DO RESFRIAMENTO DISTRITAL

2.1 O Ciclo Combinado de Resfriamento, Aquecimento e Energia Elétrica

O funcionamento do resfriamento distrital é substancialmente baseado no uso de CCHP (*Combined Cooling, Heating and Power* ou ciclos combinados de resfriamento, aquecimento e energia elétrica). Resumidamente, o CCHP une o potencial de geração de energia dos motores ou turbinas a gás com a capacidade de resfriamento de resfriadores.

A configuração básica de uma planta de CCHP pode ser vista na Figura 2.1:

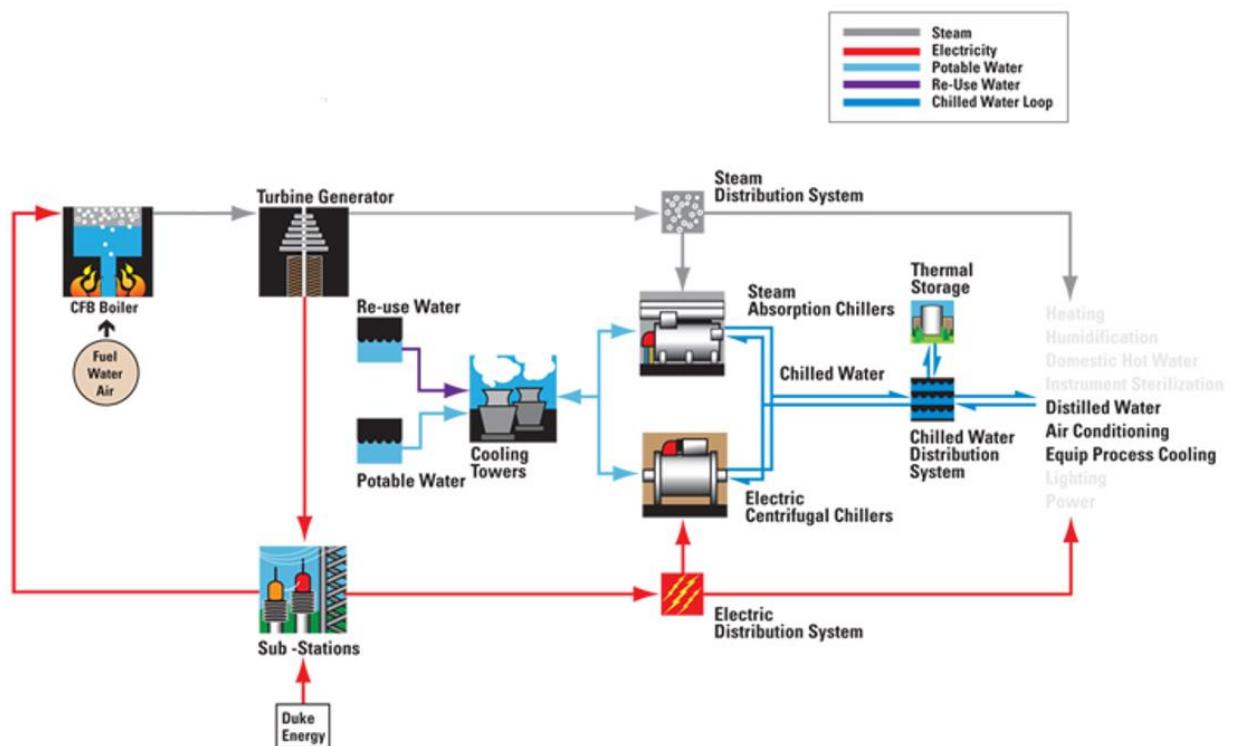


Figura 2.1 - CCHP esquematizado na forma básica

O gerador principal ou *prime mover* é o ponto de partida do ciclo, no caso representado pelo *CFB Boiler* (caldeira de leito circulante fluidizado). É a fonte principal de energia do ciclo. A partir dele, uma turbina é acionada, gerando trabalho, que é convertido em energia elétrica.

Seguindo a linha vermelha da Fig. 2.1, a energia gerada é aplicada para a rede interna, diminuindo o consumo dos prédios do resfriamento distrital da energia fornecida pela concessionária de energia elétrica.

O restante da eletricidade é utilizado para suprir os resfriadores elétricos, responsáveis por parte do fornecimento de água gelada.

Somado a essas saídas, ainda há um grande diferencial desse ciclo para os ciclos comuns. O CCHP pode usar um sistema de cogeração. Ou seja, o calor rejeitado pela turbina (como efeito secundário) pode ser reaproveitado por evaporadores, que podem abastecer os resfriadores ou produzir água quente.

Para a outra função, os evaporadores, junto a condensadores, torres de resfriamento e absorvedores compõem os chamados resfriadores de absorção, responsáveis pelo restante do fornecimento de água gelada.

O aspecto importante deste sistema é que enquanto o resfriador elétrico consome energia elétrica da rede que poderia ser utilizada para outros equipamentos, o resfriador de absorção consome uma energia que seria liberada no meio ambiente, sem futura utilidade. Assim, pode-se operar com os dois tipos de resfriador alternando em horários diferentes, de acordo com a carga energética demandada, maximizando a eficiência energética que o equipamento pode oferecer.

2.2 Saídas

O CCHP gera **energia elétrica** e **calor** a partir de sua turbina e **água gelada** a partir de seus resfriadores. Essas três saídas são encaminhadas para uma rede de distribuição que transmite da central para os prédios pertencentes ao *district cooling*.

3. PERFIL DE DEMANDA

3.1 Definição da região a ser estudada

Para uma análise de implementação na cidade de São Paulo, foi escolhida a seguinte área, cercada pela Avenida Paulista, R. Treze de Maio e R. Carlos Sampaio, no centro da cidade. Foi incluído também o Hospital Alemão Oswaldo Cruz. Os limites da área podem ser observados na Fig. 3.1. Para fins práticos, a área será denominada informalmente como Treze de Maio.

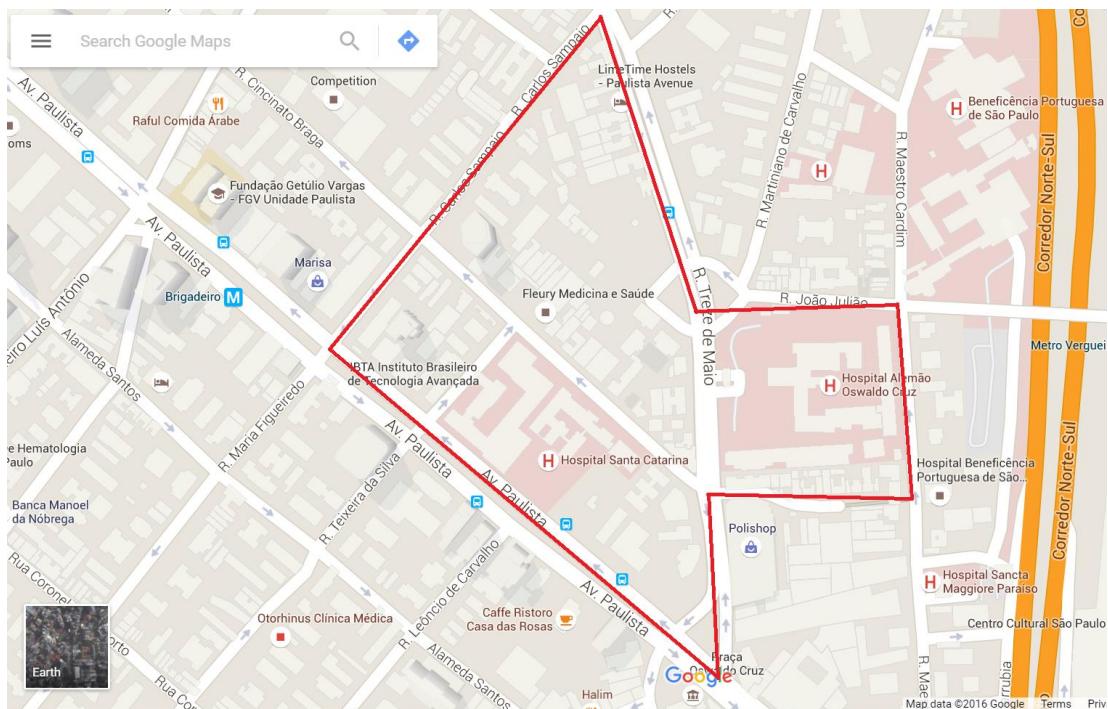


Figura 3.1 - Região entre a Av. Paulista, R. Carlos Sampaio e R. Treze de maio a ser analisada

Tendo em vista que a região possui uma grande heterogeneidade de edifícios, possuindo prédios comerciais, prédios residenciais, hospitais, shoppings, hostels, restaurantes e comércio local, a área delimitada mostra-se uma candidata apropriada para a possível implementação de um *district cooling*. Todavia, deve-se ressaltar que existe uma predominância de prédios comerciais, que operam majoritariamente no horário comercial, desse modo, é interessante a presença de uma variedade, por exemplo, dos

hospitais, que têm sua ala de pronto socorro operando 24 horas por dia, sendo esse o motivo de ter-se incluído o Hospital Alemão Oswaldo Cruz na área de cobertura, por acrescentar um contraste na curva de demanda energética ao longo do dia. É uma área com uma grande concentração populacional, situada em uma das regiões mais movimentadas da América do Sul, requisito imprescindível para garantir a viabilidade de um sistema de resfriamento distrital.

3.2 Caracterização da região estudada

Através do *Google Earth*, foi possível caracterizar todas as construções presentes na região, sendo possível observar-se a distribuição dos diferentes tipos existentes no Treze de Maio. Ainda no mesmo *software*, foi possível realizar uma estimativa de área do andar típico de cada prédio utilizando a ferramenta *Polygon*, que usa os dados de satélite e calcula o valor da área traçada manualmente no mapa.

A Tab. A.1, em anexo, contém a lista completa de todos os edifícios que compõem a região.

Como premissa inicial de simplificação, as construções foram divididas em 5 tipos diferentes: Residencial, Comercial, Hospital, Hotel e Igreja. Mas deve ser levado em conta também que existem prédios comerciais de 20 andares, assim como prédios de 3 andares, o que leva à necessidade de mais critérios de divisão para traçar-se o perfil energético. Para isso, as construções foram classificadas não só por finalidade, mas por quantidade de andares, como apresentado na Tab. 3.1.

Tabela 3.1 - Apresentação dos diferentes tipos de construções e número presente na região

Tipo de construção	Quantidade existente na área
Comercial até 3 andares	10
Comercial de 4 a 10 andares	9
Comercial com mais de 10 andares	10
Residencial até 3 andares	4
Residencial de 4 a 10 andares	6
Residencial com mais de 10 andares	13
Hotel até 3 andares	1
Hotel de 4 a 10 andares	1
Hotel com mais de 10 andares	2
Igreja	1

Diferentemente, os hospitais foram divididos de maneira diferenciada, já que cada um deles possui diferentes configurações, alguns com várias unidades, outros com apenas uma unidade, então, a divisão foi feita procurando separar os setores do hospital que realizam a mesma função (ex: pronto-socorro, apartamentos, pediatria) ao invés de analisar o hospital como um todo, que traria perfis diferentes de demanda agrupados como um só, causando uma análise confusa por sua heterogeneidade. A divisão ficou da seguinte maneira mostrada na Tab. 3.2:

Tabela 3.2 - Divisão dos hospitais em segmentos menores de acordo com suas funções

Hospital	Segmento
Tranjan	Unidade única
Hospital Santa Catarina 1	Atendimento
Hospital Santa Catarina 2	Apartamentos
Hospital Santa Catarina 3	Infantil
Fleury	Unidade única
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 1	Atendimento
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 2	Salas de Consulta
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 3	Apartamentos
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 4	Infantil

3.2.1 Divisão em condomínios

Para uso posterior, a região foi dividida virtualmente em 11 regiões para que a distribuição de energia seja mais segmentada, de forma a organizar melhor o projeto de fornecimento de frio. A Fig. 3.2 mostra o espectro da divisão.

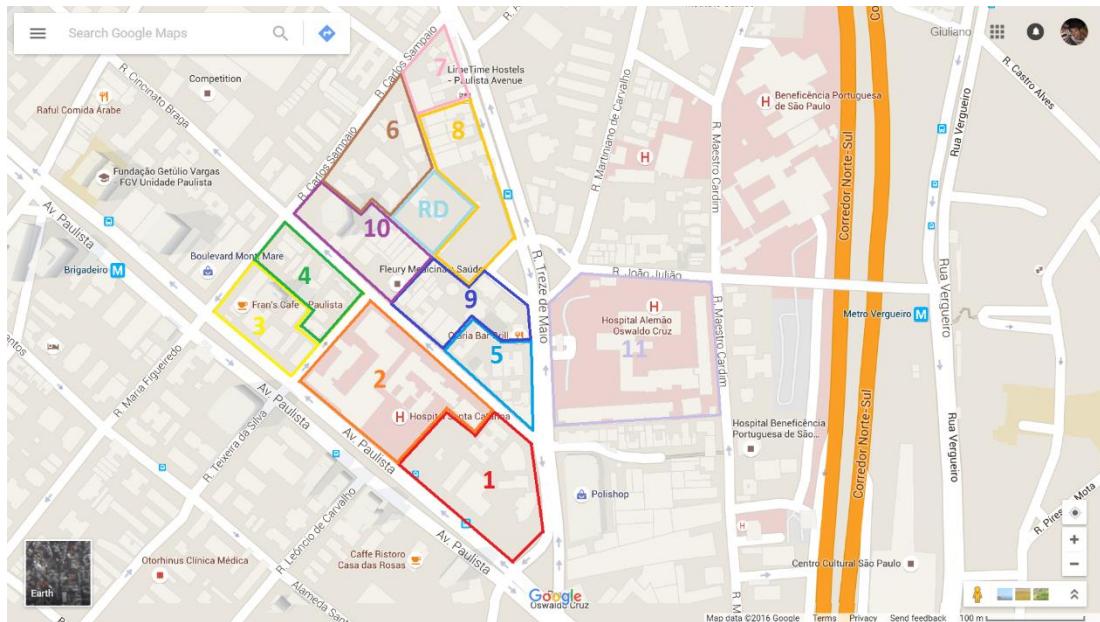


Figura 3.2 - Visão ilustrativa sobre o mapa oferecido pelo Google delimitando as regiões dos condomínios

Ainda, a Tab. 3.3 mostra a área total de piso refrigerado ocupada por cada um desses condomínios e a quantidade de prédios presente em cada um deles. É importante ressaltar que esta área não corresponde à área da região, mas sim a área efetiva para o resfriamento, que depende da largura dos prédios, da quantidade de andares, etc.

O critério de divisão foi mais uma questão geométrica do que funcional ou de densidade. Foram escolhidas 10 regiões com construções que tivessem proximidade entre si e tentando minimizar a quantidade de obstáculos entre elas, pois assim, com a instalação de uma rede de distribuição, a logística de implementação de tubos é facilitada. Nota-se ainda que no centro da região existe uma área assinalada como “RD”, que é onde os equipamentos de geração de energia do resfriamento distrital seriam instalados.

Tabela 3.3 - Caracterização dos condomínios

Condomínio	Número de Prédios	Área (m ²)
1	7	45200
2	3	54600
3	6	56900
4	8	20900
5	8	13000
6	6	17700
7	7	16300
8	5	15800
9	8	18400
10	4	30100
11	4	37100

3.3 Simulação de consumo no S3E

Para uma estimativa preliminar da demanda energética do Treze de Maio, o software *in-browser* da S3E foi utilizado para realizar a simulação. O S3E é um projeto feitos por alunos da Universidade Federal de Santa Catarina com o intuito de simular condições térmicas de uma construção e estimar o seu consumo anual de energia. Para isso, o programa contém um banco de dados de vários modelos pré-prontos com geometrias, materiais, perímetros típicos utilizados na construção civil, assim, o modelo pode ser facilmente aproximado sem a necessidade de uma extensa pesquisa de dados de entrada, o que é ideal para um estudo de viabilidade, em que ainda não há a precisão de dados específicos de projeto [S3E SIMULADOR.., 2014].

Para cada tipo de construção diferente, contando cada segmento dos hospitais como tipos de construção também, foram utilizados modelos pré-estabelecidos pelo S3E diferentes, para que alguns dados de entrada, tais como densidade de ocupação, período de ocupação, iluminação do edifício, entre outros, tenham valores base assumidos para simplificação do

problema. O estudo presente não se aprofundará em fatores como irradiação solar, geometria de construção para a análise energética da área do Treze de Maio, sendo utilizados valores típicos oferecidos pelo S3E para restrição do problema. A Tab. 3.4 mostra a relação entre os tipos de construção definidos neste estudo com os modelos típicos presentes no software.

Tabela 3.4 - Relação do tipo de construção com o uso típico apresentado no s3e

Tipo de construção	Modelo Típico S3E
Comercial até 3 andares	Comércio
Comercial de 4 a 10 andares	Escritório B (média densidade)
Comercial com mais de 10 andares	Escritório C (alta densidade)
Residencial até 3 andares	Hotel
Residencial de 4 a 10 andares	Hotel
Residencial com mais de 10 andares	Hotel
Hotel até 3 andares	Hotel
Hotel de 4 a 10 andares	Hotel
Hotel com mais de 10 andares	Hotel
Igreja	Igrejas
Tranjan	Escritório B (média densidade)
Hospital Santa Catarina 1	Escritório C (alta densidade)
Hospital Santa Catarina 2	Hotel
Hospital Santa Catarina 3	Escritório C (alta densidade)
Fleury	Escritório C (alta densidade)
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 1	Escritório C (alta densidade)
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 2	Escritório C (alta densidade)
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 3	Hotel
Hospital Alemão Oswaldo Cruz 4	Escritório C (alta densidade)

Alguns dos tipos de construções não possuíam equivalente exato no S3E, sendo necessário a escolha de outro tipo, tentando aproximar as características. Os prédios residenciais, por exemplo, foram definidos como *hotel* pois, apesar de não serem hotéis, são menos ocupados durante o dia, quando os usuários estão trabalhando e exercendo sua rotina, e são mais ocupados durante a noite, quando os usuários vão acomodar-se em seus aposentos. Já no caso dos hospitais em suas áreas de atendimento e consultórios, onde há um grande movimento de pessoas circulando durante o horário comercial, foi escolhido o *escritório C*, de alta densidade, como modelo típico mais próximo, uma vez que o fluxo será análogo em quantidade e período. Os prédios comerciais de até 3 andares não foram classificados como *escritório* por serem em sua maioria comércios locais, como lojas de conveniência, padarias e até postos de gasolina, se encaixando melhor na categoria *comércio*.

Da simulação, um relatório detalhado de consumo de energia é gerado, qual pode-se extrair informações da quantidade de energia gasta ao longo de um ano, com sua distribuição de acordo com os meses, além de gerar a distribuição da energia consumida por uso (iluminação, refrigeração, aquecimento, equipamentos). As Fig. 3.3 a 3.6 mostram parcelas desse relatório. A Fig. 3.3 imita um selo de consumo de energia semelhante ao da Inmetro, representando graficamente a faixa de consumo da edificação [INMETRO, 2017]. A Fig. 3.4 mostra a distribuição percentual de consumo de energia nas categorias resfriamento, iluminação, ventiladores e equipamentos. A Fig. 3.5 mostra o percentual de consumo dos equipamentos ao longo dos meses de um ano. Por fim, a Fig. 3.6 apresenta uma estimativa de consumo dos equipamentos para 5 casos possíveis (um real e mais 4 variantes) daquela edificação.

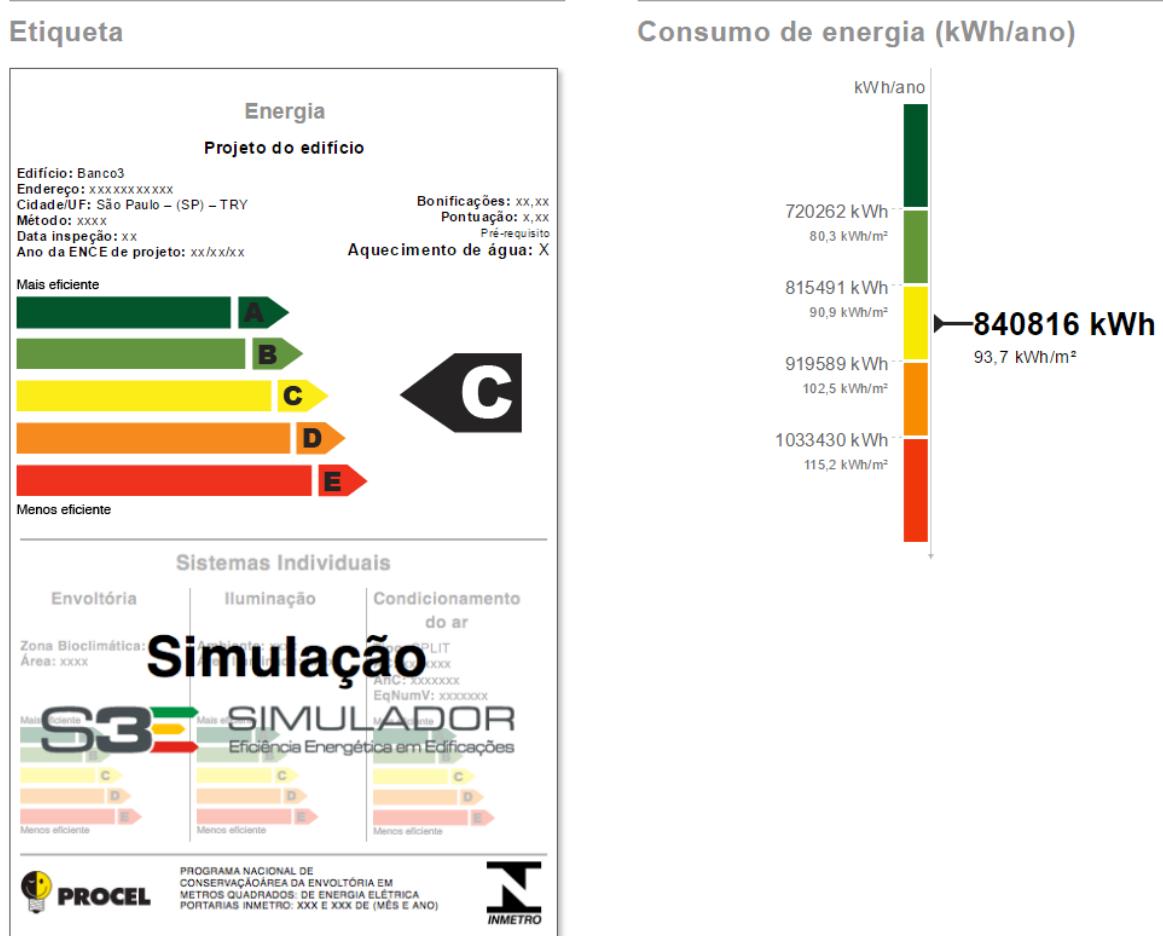


Figura 3.3 - Etiqueta de eficiência energética do projeto, simulando o selo da Inmetro

Gráfico do consumo energético percentual anual da edificação real

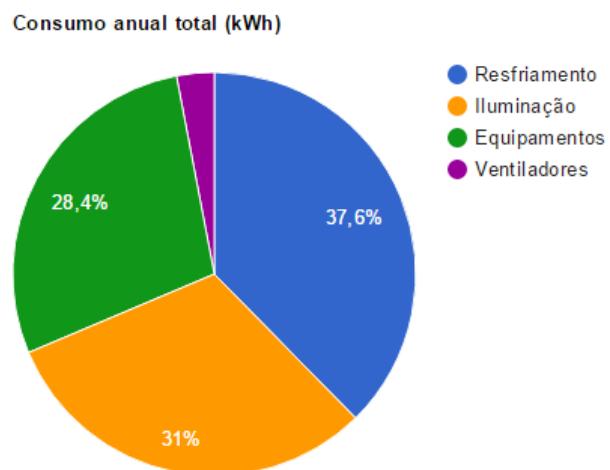


Figura 3.4 - Divisão por setor de consumo

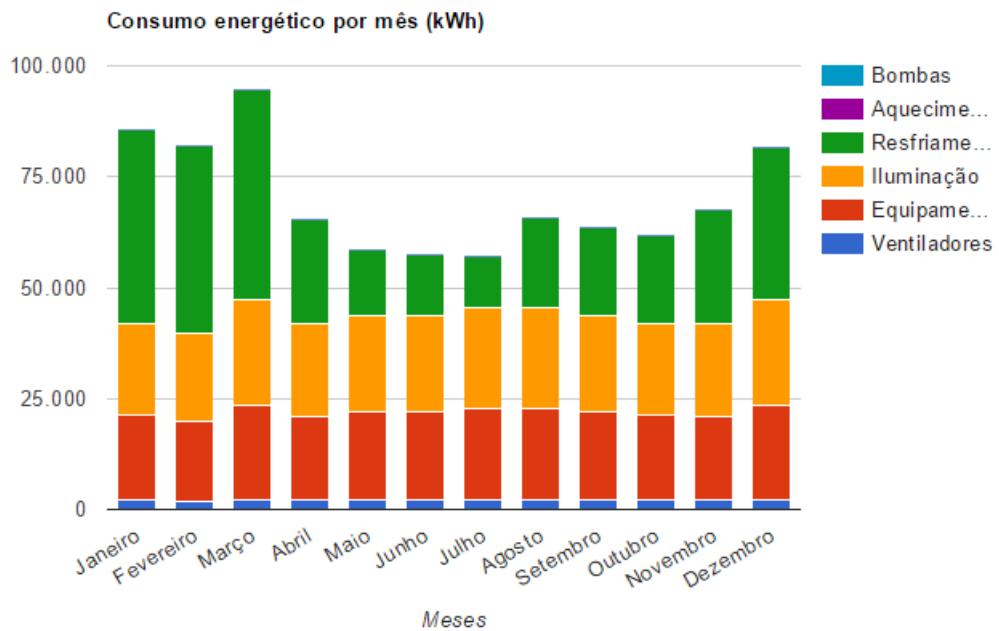


Figura 3.5 - Distribuição de consumo por mês e setor

Consumo Energético

Anual					
Elemento de consumo	Edificação Real	Referência A	Referência B	Referência C	Referência D
Consumo energético total (kWh)	840816	720262,0	815491,0	919589,0	1033430,0
Resfriamento (kWh)	316510	256856,0	320032,0	392025,0	473766,0
Aquecimento (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Iluminação (kWh)	260618	200009,0	230314,0	260618,0	290923,0
Equipamentos (kWh)	238382	238382,0	238382,0	238382,0	238382,0
Ventiladores (kWh)	25306	25014,0	26764,0	28564,0	30359,0
Bombas (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Torres de arrefecimento (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0
Diversos (kWh)	0	0,0	0,0	0,0	0,0

Gráfico comparativo do consumo energético entre a edificação real e as edificações de referência

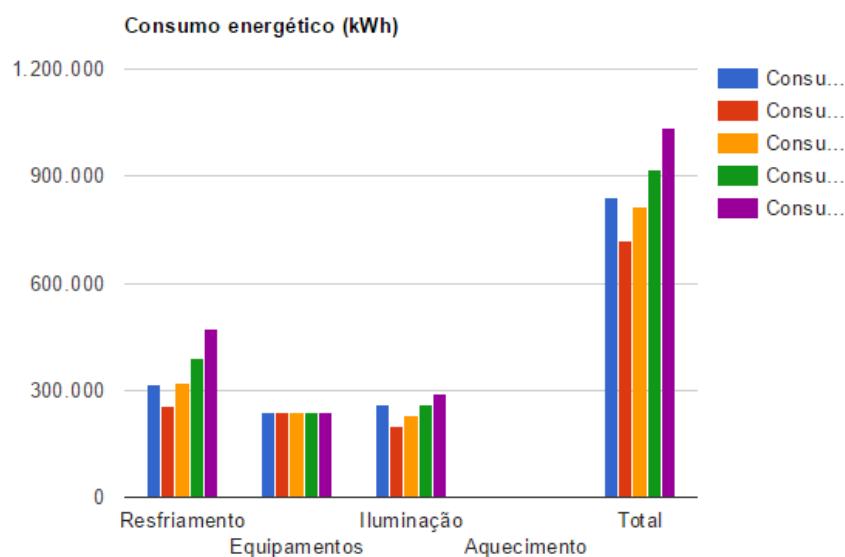


Figura 3.6 - Resumo numérico da quantidade de energia consumida anualmente e geração de referências-exemplo para convergência de valores

A partir da geração de um relatório de consumo para cada um dos 19 tipos de construção, e, atribuindo cada um desses tipos aos 66 imóveis delimitados pela região do Treze de Maio, pôde-se obter uma aproximação do consumo energético total da região. A Tab. 3.5 mostra alguns dos resultados de saída da simulação do S3E, tais como consumo energético por ano, porcentagem relativa à refrigeração, consumo energético de refrigeração por ano e carga energética por área. A Tab. A.2, em anexo,

mostra a associação entre cada construção e seu tipo, seu consumo energético total e seu consumo de refrigeração.

Tabela 3.5 - Consumo energético por tipo de construção

Tipo de construção	Consumo energético (MWh/ano)	Porcentagem relativa à refrigeração	Consumo refrigeração (MWh/ano)
1 - Residencial até 3 andares	75,8	19,30%	14,6
2 - Residencial de 4 a 10 andares	498	26,50%	132
3 - Residencial com mais de 10 andares	257,5	20,40%	52,5
4 - Comercial até 3 andares	17,1	11,0%	1,9
5 - Comercial de 4 a 10 andares	350,0	30,5%	106,8
6 - Comercial com mais de 10 andares	885,6	30,7%	271,9
7 - Hotel até 3 andares	59,1	20,1%	11,9
8 - Hotel de 4 a 10 andares	906,7	25,1%	227,6
9 - Hotel com mais de 10 andares	2100,3	27,1%	569,2
10 - Igreja	66,4	35,1%	23,3
11 - Tranjan	923,5	32,2%	297,4
12 - Hospital Santa Catarina 1	796,9	11,5%	91,6
13 - Hospital Santa Catarina 2	8918,9	25,4%	2265,4
14 - Hospital Santa Catarina 3	867,8	27,9%	242,1
15 - Fleury	400,5	12,7%	50,9
16 - Hospital Alemão Oswaldo Cruz 1	615,1	11,8%	72,6
17 - Hospital Alemão Oswaldo Cruz 2	2953,6	23,9%	705,9
18 - Hospital Alemão Oswaldo Cruz 3	1622,3	24,4%	395,8
19 - Hospital Alemão Oswaldo Cruz 4	1021,6	26,6%	271,7

Somando a demanda de todos os edifícios tem-se a soma de consumo de refrigeração de **10647,8 MWh/ano** e consumo de energia elétrica total de **41115,1 MWh/ano**.

4. METODOLOGIA UTILIZADA NO *RETSCREEN* PARA O MODELO ENERGÉTICO

4.1 Objetivo com a ferramenta (saídas)

O *RetScreen* é uma ferramenta canadense desenvolvida pela Natural Resources Canada em conjunto com a NASA [RETSCREEN INTERNATIONAL, 2005]. Sua função é gerar um relatório que mostre a viabilidade de um projeto de geração de energia realizando cálculos termodinâmicos e financeiros. Desta forma, é capaz de fornecer dados para avaliação técnica e econômica de sistemas para climatização e geração de energia. Para definir o projeto, a primeira aba, denominada **Iniciar**, configura estes ajustes iniciais, como apresentado na Fig. 4.1.

Informação sobre o projeto		Veja banco de Dados do projeto
Nome do Projeto	Resfriamento Distrital	
Localização do Projeto	Paulista - São Paulo, SP	
Preparado para		
Preparado por	Giuliano Akira Goto de Mello	
Tipo de projeto	Produção de frio e eletricidade	
Tipo de grid	Rede central & carga interna	
Tipo de análise	Método 2	
Poder calorífico de referência	Poder Calorífico Inferior (PCI)	
Ver parâmetros	<input checked="" type="checkbox"/>	
Idioma	Portuguese - Português	
Manual do usuário	English - Anglais	
Moeda	Brasil	
Unidades	Unidades métricas	

Figura 4.1 - Configurações iniciais do Retscreen na aba Iniciar

A segunda aba, chamada de **Carga e Rede**, caracteriza todo o balanço energético feito no sistema, ou seja, tudo aquilo, em termos de eletricidade e frio, que a região dos condomínios requer para poder operar e, também, as trocas de calor com o ambiente e perda de carga no transporte de água gelada.

Quanto à parte que se refere ao projeto de refrigeração, as saídas são os valores numéricos de **Demandade Frio**, **Carga de Ponta de Frio** e **Custo**

Total para geração de Frio, de modo parcial (para cada condomínio) e também a soma total, assim como visto na Fig. 4.2.

Projeto de Refrigeração		Unidade		
Sistema de refrigeração do caso referência		Vários Prédios - refrigeração ambiental		
<i>Veja notas técnicas sobre projeto da rede de frio</i>				
Área de piso refrigerado por condomínio				
Número de prédios no condomínio				
Tipo de Combustível				
Coeficiente de desempenho - sazonal				
Cálculo da carga de refrigeração				
Carga de Refrigeração para o condomínio				
Demanda refrigeração independente da temperatura externa				
Demanda total de frio				
Carga total de ponta de frio				
Consumo de combustível - unitário				
Consumo de combustível - anual				
Preço combustível - unidade				
Preço do combustível				
Custo do combustível				
BRL		12.513.766		
Ações de eficiência energética do caso proposto				
Ações de eficiência energética no uso final				
Carga líquida de ponta de frio				
Demanda líquida de frio				
MWh				
%				
kW				
MWh				
MW				
%				
MWh				
Condomínios				
1		1		
45.217		45.217		
7		7		
3		3		
Eletricidade		Eletricidade		
3,00		3,00		
BRL/kWh		BRL/kWh		
0,275		0,275		
BRL		1.782.344		
BRL		1.916.805		
BRL		1.671.322		
%		20%		
kW		3.447		
MWh		3.707		
MW		3.233		
%		15.561		
BRL		16.735		
BRL		14.592		

Figura 4.2 - tela do Retscreen em que é feita a caracterização do projeto de refrigeração

Quanto à rede de distribuição de frio para transportar a água gelada do prédio central para os condomínios, temos como saída: **Comprimento de Tubos** para rede de distribuição de frio (linha de distribuição **principal**, linha **secundária e total**), **Custo das Conexões** dos condomínios (**principal**, **secundária, estação de transferência de energia e total**), também de modo individual para cada condomínio e total, observados na Fig. 4.3.

Rede de distribuição de frio do caso proposto		Estimado/Total	
Critérios de projeto - tubos refrigeração			
Temp. de fornecimento projetada		°C	
Temp. de retorno projetada		7	
Diferencial de temperatura		°C	
Linha principal de distribuição de frio		5	
Sobredimensiona. do tubo principal da rede			
Secções de tubos			
Secção 1		%	
2.924		20%	
Secção 2		m	
4.783		104	
Secção 3		m	
3.233		112	
Secção 4		m	
8.180		90	
Secção 5		m	
2.540		226	
Secção 6		m	
2.543		201	
Secção 7		m	
Secção 8		174	
Secção 9		m	
Secção 10		907	
Secção 11		m	
Secção 12		m	
Secção 13		m	
Comprimento total do tubo da linha de distribuição principal		m	
Linhas secundárias de distribuição de frio		m	
Sobredimens. tubo secundário da rede distrib.		%	
Comprimento da secção de tubo		10%	
Dimens. Tubo		m	
Custo rede local distribuição de frio		m	
Comprimento total de tubos		m	
Método de avaliação de custos		1.557	
Tipo de conexão - estação de transferência de energia		Fórmula	
Fator de custo - estação transferência de energia		Direto	
Fator de custo - tubos linha principal de distribuição		1,00	
Fator de custo - tubos linha secundária de distribuição		1,25	
Taxa de câmbio		1,00	
BRL/CAD		0,42	
Custo - estação(ões) transfer. de energia		BRL	
Custo - Tubo linha secundária distribuição		968.590	
Custo Total - conexão do condomínio		BRL	
		179.197	
		1.147.788	

Figura 4.3 - Tela do Retscreen em que é feita a configuração da distribuição de água gelada pelos condomínios

Quanto à seção relativa ao projeto de produção de eletricidade, as saídas são **Carga Média Líquida de eletricidade**, **Carga de Pico** (bruta e líquida), Demanda de Eletricidade (bruta e líquida), **Custo Total de Eletricidade** (bruto e líquido), sendo líquida a parte com a energia usada para a geração de frio descontada. A Fig. 4.4 apresenta esses detalhes.

Características da carga do caso de referência			
Mês	Eletricidade carga média bruta kW	Eletricidade carga média líq. kW	Refrigeração carga média kW
Janeiro	40.192	33.707	19.455
Fevereiro	41.665	35.036	19.887
Março	39.551	33.306	18.735
Abril	36.971	31.350	16.862
Maio	32.526	28.154	13.116
Junho	29.665	25.773	11.675
Julho	28.841	25.237	10.811
Agosto	30.095	26.107	11.963
Setembro	30.999	26.867	12.396
Outubro	32.315	27.367	14.845
Novembro	35.777	30.204	16.718
Dezembro	37.716	31.711	18.014
Carga de ponta sist. elétrico acima da média mensal máxima	30,0%		
Carga de pico - anual	54.165	44.080	30.255
Demandas de eletricidade	MWh	306.327	260.804
Preço da eletricidade - caso de referência	BRL/kWh	0,275	0,275
Custo total de eletricidade	BRL	84.206.102	BRL 71.692.335

Figura 4.4 - Tela do Retscreen em que são inseridos os dados de carga de eletricidade ao longo do ano

A terceira aba, denominada **Modelo Energético**, é a **Seleção de Equipamentos** para atender aos valores requisitados na primeira aba. Também possui uma seção de análise financeira para um estudo de viabilidade a partir da avaliação da **Taxa de Retorno de Investimento** ao longo do tempo. As Fig. 4.5 e 4.6 mostram respectivamente a seleção de equipamentos e o fluxo de caixa.

Sistema de refrigeração do caso proposto			
Carga base do sistema de refrigeração			
Tecnologia	Absorção		
Tipo de Combustível	Gas natural - m ³		
Preço do combustível	BRL/m ³	1.197	
Capacidade	kW	17.582,0	72,6%
Coeficiente de desempenho - sazonal		0,70	
Fabricante	Mitsubishi Electric		
Modelo	MDUE-2500H		
Frio fornecido	MWh	108.308	2 unidade(s)
			99,1%

Figura 4.5 - Tela do Retscreen na qual é feita a seleção de equipamentos do ciclo

Análise Financeira			
Parâmetros financeiros			
Taxa de inflação	%	11,5%	
Vida do projeto	ano	25	
Razão da dívida	%	70%	
Taxa de juros da dívida	%	4,00%	
Duração da dívida	ano	5	
Custos iniciais			
Sistema de produção de eletricidade	BRL	80.000.000	76,0%
Sistema de refrigeração	BRL	25.200.411	24,0%
Outro	BRL		0,0%
Total de custos de investimento	BRL	105.200.411	100,0%
Incentivos e subsídios			
	BRL		0,0%

Figura 4.6 - Tela do Retscreen que apresenta a inserção de dados para análise financeira

Para a determinação das saídas aqui apresentadas, é necessário definir uma série de premissas e adotar hipóteses para a simplificação do problema.

4.2 Ajustes Iniciais

Para obter-se as saídas explicitadas na seção anterior, primeiro deve-se definir algumas configurações iniciais na primeira aba, denominada **Iniciar**, mostrada na seção anterior, na Fig. 4.1.

A primeira é o **Tipo de Projeto**, podendo este ser **Eletricidade, Calor, Frio**, ou uma combinação entre os três. Para o caso proposto, o projeto é uma solução de **Produção de Eletricidade e Frio**, uma vez que é um projeto de resfriamento distrital, onde operam sistemas de cogeração, que poderiam fornecer calor também, mas tendo em vista que o local de implantação será na cidade de São Paulo, onde a temperatura raramente ultrapassa os limites entre 10°C e 31°C [INSTITUTO..., 2014], a produção de calor será dispensada, não sendo importante para o abastecimento da região.

Depois, é necessário definir o **Tipo de Grid**, sendo **Rede Central** (com ou sem carga interna) ou **Rede Isolada** (com ou sem carga interna) ou **Fora da Rede**. Considerando que é um caso de resfriamento distrital, onde pretende utilizar-se a rede elétrica central em horários de ponta, quando o sistema de cogeração for insuficiente para suprir a demanda, e, também, o oposto, ou

seja, armazenar o excedente produzido para uso posterior ou venda, define-se o grid como de **Rede Central** (com a carga interna dos condomínios).

Em seguida, é estabelecido o **Tipo de Análise**, que fornece uma análise padrão (**Método 1**) ou uma análise mais detalhada (**Método 2**). O método 1 se restringe a uma avaliação da carga requerida pelo sistema, à definição do modelo energético e uma análise financeira. Já o método 2 acrescenta uma aba de análise de custos (mão de obra, transmissão de energia, equipamento, transporte, etc.), uma de análise de emissões de gases e uma de análise de sensibilidade (comparando resultados caso os preços dos combustíveis se alterem ou caso a taxa de juros se altere). No estudo presente, foi escolhido o método 1, apesar de ser menos completo, já que das informações que o método 2 oferece a mais, apenas a análise de sensibilidade é de relevância para o objetivo proposto e esta será feita sem o auxílio da ferramenta. A análise de emissão de gases não se faz de importância e a análise de custos é importante na parte que diz respeito aos equipamentos do sistema de refrigeração e frio, que são contabilizados nas abas presentes do método 1; já informações como custo de mão de obra e transporte são irrelevantes para o tema.

O **Poder Calorífico de Referência** é a escolha entre **PCS** (poder calorífico superior) e **PCI** (poder calorífico inferior). Por convenção, com exceção dos EUA e Canadá, é utilizado o PCI [RETSCREEN INTERNATIONAL, 2014]. Do mesmo modo, a moeda escolhida nas operações é o **Real Brasileiro** (BRL) e o sistema de unidades é o **Métrico**.

Por fim, deve-se escolher a base de dados climáticos, para os quais os critérios do modelo de energia serão baseados. Como já mencionado, o projeto é proposto para a cidade de São Paulo, sendo escolhida como **Localização de Dados Climáticos** de referência, a base de dados da estação meteorológica do Aeroporto de Congonhas, na cidade de São Paulo.

4.3 Dados de Entrada

Na aba Carga e Rede, uma boa parte dos dados de entrada que definirão o projeto são inseridos.

4.3.1 Projeto de refrigeração

A primeira seção da aba é referente ao projeto de refrigeração, em que é declarado que o caso tem como objetivo a **Refrigeração Ambiental** de vários prédios, os condomínios são definidos, com cada um sendo descrito por sua **Área de Piso Refrigerado** (em m²), seu **Número de Prédios**, **Tipo de Combustível**, **COP sazonal** (coeficiente de desempenho sazonal), **Carga de Refrigeração Específica** (em W/m²), **Custo do Combustível** (em R\$/kWh), **Ações de Eficiência Energética** (em %, representa o quanto o uso do sistema de cogeração economizará de energia em relação ao caso de referência). Ainda, há mais um dado de entrada, que é a **Demandas de Refrigeração Independente da Temperatura Externa**.

4.3.2 Rede de distribuição de frio do caso proposto

Quanto à rede de distribuição de frio, que é a segunda seção da primeira aba, é necessário definir a **Temperatura de Retorno** e, **Temperatura de Fornecimento** da água, estimativa de **Sobredimensionamento** da rede primária e secundária tubos, **Comprimento das linhas principais** de tubos, com o respectivo mapa de quais condomínios são abastecidos por cada seção, **Comprimento das linhas secundárias** de tubos, e os **Fatores De Custo** na linha principal, secundária e na estação de transferência de energia.

4.3.3 Projeto de produção de eletricidade

Para o projeto de produção de eletricidade, é apenas necessário fornecer a **Carga Média Bruta** de eletricidade ao longo dos 12 meses do ano, a **Carga de Ponta acima da Média Mensal Máxima** e o **Preço da Eletricidade**.

4.4 Metodologia e hipóteses adotadas para definição dos parâmetros de entrada

Para proceder na geração do relatório pelo *Retscreen*, é necessário adequar as variáveis de entrada ao seu formato requerido pelo sistema. O objetivo nesta seção é definir como foi feito para obtê-las de modo compatível com o *Retscreen* e seus cálculos.

4.4.1 Projeto de Refrigeração

A delimitação dos condomínios foi apresentada na Seção 3.2, sendo o **número de prédios** de cada condomínio e sua **área (A_i)** apresentada na Tab. 3.3.

Para efeito das análises aqui realizadas, adotou-se o COP padrão para ciclos de absorção de um estágio igual a 0,733, valor definido com base na pesquisa realizada por Alsaqoor e Alqdah (2014).

Para a determinação do **preço do combustível (p_{EE})** no sistema de resfriamento distrital, primeiramente, atribui-se que o projeto situa-se na classificação A2 Industrial (88 a 138 kV), uma vez que possui uma carga muito alta de energia com todos seus equipamentos somados [PORTAL ENGENHARIA.., 2014]. Esta classificação foi feita com base apenas nas demandas de energia exigidas pelo sistema de resfriamento distrital. A mudança desta classificação pode afetar a avaliação econômica do sistema, porém não é objetivo deste trabalho a avaliação do impacto da estrutura tarifária na viabilidade econômica do projeto.

Sendo da classificação A2 Industrial, a tarifa de energia elétrica, de acordo com ANEEL (2016), é composta pelos seguintes valores, apresentados na Tab. 4.1:

Tabela 4.1 - Tabela da AES Eletropaulo de tarifação industrial, baseada na resolução nº 2.103 de 28/06/2016 da ANEEL

MODALIDADE TARIFÁRIA	SUBGRUPOS					
	A2 (88 a 138kV)		A3a (30 a 44kV)			
	Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD)	Tarifa de Energia (TE)	Tarifa de uso do Sistema de Distribuição (TUSD)	Tarifa de Energia (TE)		
	Demanda (R\$/kW)	Energia (R\$/kWh)	Energia (R\$/kWh)	Demandा (R\$/kW)	Energia (R\$/kWh)	Energia (R\$/kWh)
TARIFA HORÁRIA AZUL						
PONTA	6,30	0,05235	0,32356	12,82	0,05815	0,32356
FORA PONTA	3,95	0,05235	0,21497	8,01	0,05815	0,21497
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA PONTA	12,60	-	-	25,64	-	-
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA FORA PONTA	7,90	-	-	16,02	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	0,22402	-	-	0,22402
TARIFA HORÁRIA VERDE						
PONTA	-	-	-	8,01	0,36894	0,32356
FORA PONTA	-	-	-		0,05815	0,21497
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA	-	-	-	16,02	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	-	-	-	0,22402
TARIFA CONVENCIONAL BINÔMIA						
INTEGRAL	-	-	-	-	-	-
ULTRAPASSAGEM DE DEMANDA	-	-	-	-	-	-
ENERGIA REATIVA EXCEDENTE	-	-	-	-	-	0,22402

A tarifação é dividida pelo uso da energia em si e pelo uso do sistema de distribuição. Admitindo que não haverá um consumo que ultrapasse a demanda estabelecida, para simplificação de problema, as tarifas existentes são as seguintes:

- Tarifa do uso do sistema de distribuição pela demanda (cobrança de acordo com potência instalada no local):

- Em horário de ponta ($p_{dist_{D_{ponta}}}$): R\$ 6,30/kW;
- Fora de horário de ponta ($p_{dist_{D_{fponta}}}$): R\$ 3,95/kW;

- Tarifa do uso do sistema de distribuição pelo consumo (cobrança de acordo com a energia consumida):

- Em horário de ponta ($p_{dist_{C_{ponta}}}$): R\$ 0,05235/kWh;

- Fora de horário de ponta ($p_{dist_{C_{fponta}}}$): R\$ 0,05235/kWh;

- Tarifa pelo consumo de energia:

- Em horário de ponta ($p_{cons_{ponta}}$): R\$ 0,32356/kWh;
- Fora de horário de ponta ($p_{cons_{fponta}}$): R\$ 0,21497/kWh;

Considera-se que durante um ano, que possui 8760h, haverá 144 horas de carga de ponta (h_p) (valor base fornecido pelo Retscreen) e 8616 horas de carga fora de ponta (h_{fp}). Sendo assim, a Eq. 1 descreve como o valor do preço do combustível (p), a energia elétrica, foi encontrado.

$$p = \frac{h_{fp}(p_{dist_{C_{fponta}}} + p_{cons_{fponta}}) + h_p(p_{dist_{C_{ponta}}} + p_{cons_{ponta}})}{(h_{fp} + h_p)} + \frac{12 * p_{dist_{D_{fponta}}} * C_{EE\text{panual}}}{C_{EE\text{ano}}} \quad (1)$$

A Eq. 1 mostra na primeira parte da primeira fração a multiplicação das duas parcelas de **preço por energia** (por consumo e por demanda) pela quantidade de horas de funcionamento em horário de ponta; na segunda parte da primeira fração existe a mesma multiplicação, mas para quantidade de horas de funcionamento fora de horário de ponta. A divisão dessas duas partes pelo total de horas em um ano cria a média de **preço por energia** ponderada pelas parcelas do ano que ficam dentro e fora do horário de ponta.

A segunda fração apresenta o **preço por potência** instalada multiplicado pela potência instalada (sendo considerado nesse parâmetro o valor do pico de carga anual, uma vez que será esse o maior valor de potência desenvolvida ao longo do ano) e depois dividido pelo consumo anual de energia elétrica do sistema, assim, essa parcela pode ser observada em reais por megawatt-hora para que assim tenha a mesma dimensão da outra parcela da equação e ambas as frações possam ser somadas. Geralmente, o preço por potência instalada é calculado separadamente do preço por consumo, mas como o Retscreen permite apenas uma entrada de valor para

preço de combustível, será feita uma aproximação de quanto seria a tarifa por potência instalada caso fosse medida em R\$/MWh, sendo somada à parcela de tarifa por consumo. O valor é multiplicado por 12 pois a cobrança por demanda é feita por mês, e o objetivo nesta etapa é normalizar por medidas anuais.

Soma-se as partes e tem-se que:

- Preço da energia elétrica (usando o resfriamento distrital): **R\$ 0,26909/kWh (p_{EE})**.

No caso comum, sem o resfriamento distrital, a determinação é feita a partir da considera-se a classificação B1 Residencial, já que a determinação de cada tarifa de cada prédio comercial demanda muito tempo e informações não disponíveis atualmente, como a faixa de tensão, que depende da construtora. Para facilitação, a classificação residencial apresenta-se como razoável, lembrando também que 25% da região é composta de prédios abaixo de 3 andares, que estão na classificação de baixa tensão, além de que 47% dos prédios, que são residenciais. Sendo assim, o preço do combustível, para o caso de referência (sem o resfriamento distrital) é de **R\$ 0,27489/kWh ($p_{EE'}$)**.

A **demandade refrigeração independente** da temperatura externa é o valor de demanda fixo para o ano todo, independentemente da variação de temperatura, geralmente destinado para servidores de computadores ou armazenamento de comida.

Considerando que 56,7% dos prédios da região são comerciais (38 de 67 prédios), e este parâmetro é relevante principalmente para prédios comerciais, uma vez que utilizam uma série de equipamentos que necessitam refrigeração, o valor estimado de demanda, que, tipicamente, é de 5 a 15% da área (10% em média) [BROWN, 2012] adota-se o valor de 5,67%, sendo a multiplicação do valor médio pela porcentagem de edifícios comerciais da região.

A **carga de refrigeração específica (C_i)**, ou seja, quanto a região requer de potência por área do terreno construído, foi obtida a partir de cálculos feitos a partir das informações extraídas dos relatórios fornecidos pelo S3E.

O método utilizado pelo utilizado por RetScreen (2014) consiste no uso de graus-dia para a determinação do tempo de uso do equipamento térmico ao longo do ano. Graus-dia representam um valor de quantos graus devem ser resfriados pelo equipamento térmico durante aquele dia para que atinja-se uma temperatura adequada pré-estabelecida por catálogo [BAILES, 2014].

Para o Caso de São Paulo/Congonhas, a temperatura base de resfriamento (T_{ref}) é 31 °C e a temperatura base de aquecimento é 10 °C (T_{aq}) [RETSCREEN, 2014], como pode-se observar na Fig. 4.7. Isto significa que, no caso do projeto de resfriamento, a diferença entre a temperatura média do dia e 10 °C (temperatura base adequada) representará a quantidade de graus-dia para aquele dia, como na Eq. 2 [ASHRAE, 1997]. A última coluna da direita, na Fig. 4.1, mostra a somatória de graus-dia de cada mês em São Paulo/Congonhas.

$$GD_{mês} = \sum_{dia} T_m - T_{aq} = \sum_{dia} T_m - 10 = n_{dia/mês} * (T_m - 10) \quad (2)$$

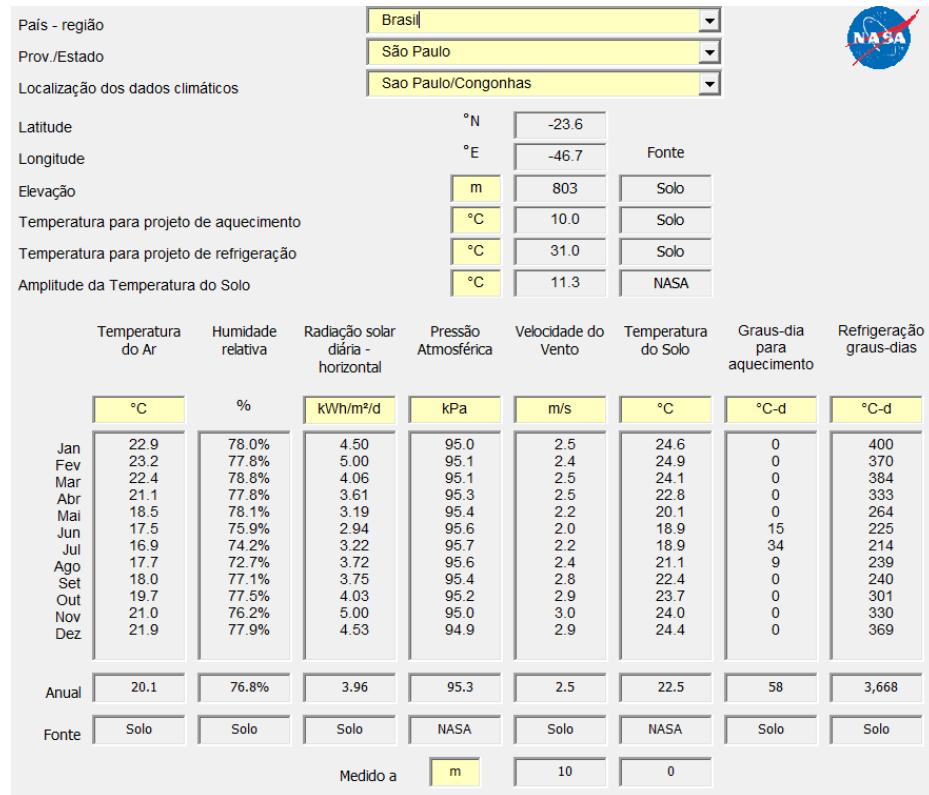


Figura 4.7 - Base de dados climáticos de São Paulo/Congonhas oferecida pela NASA

No caso limite da temperatura média do dia de 31º C, a carga diária atingiria seu valor máximo, pois a diferença equivale à diferença entre a temperatura base de aquecimento e a temperatura base de resfriamento.

Neste caso, ela é denominada denominada **Carga de Ponta** (C_p) [RETSCREEN, 2014], em que os equipamentos seriam utilizados 100% do tempo.

$$GD_{mês_{max}} = \sum_{dia} T_{resf} - T_{aq} = \sum_{dia} 31 - 10 = n_{dia/mês} * 21 \quad (3)$$

Com a relação entre graus-dia de um mês e graus-dia máximo que aquele mês poderia ter, pode-se determinar qual fração (β_i) do mês os equipamentos estarão operando.

$$\beta_i = \frac{GD_{mês_i}}{GD_{mêsmax_i}} \quad (4)$$

O Retscreen parte do pressuposto que durante 144h do ano existirá uma carga de ponta (100% dos equipamentos sendo utilizados) [RETSCREEN, 2014]. Desse período, é criado um 13º mês virtual para que os meses normais possam ser comparados em relação a quantos por cento do potencial total está sendo exigido, já que esse 13º mês expressaria a carga de 100%.

A Tab. 4.2 mostra a relação entre mês e suas horas úteis de funcionamento (h_{u_i}).

Tabela 4.2 - Determinação das horas de funcionamento do sistema em cada mês

Mês	Hora total (h_i)	Fração útil (β_i)	Horas úteis (h_{u_i})
Janeiro	732	61%	449,7
Fevereiro	661	63%	415,5
Março	732	59%	432,2
Abril	708	53%	374,2
Maio	732	40%	296,3
Junho	708	36%	252,9
Julho	732	33%	240,5
Agosto	732	37%	268,4
Setembro	708	38%	269,7
Outubro	732	46%	338,1
Novembro	708	52%	370,9
Dezembro	732	57%	414,8
13º mês	143	100%	143,0
Soma	8760	-	4266,1

Note que mesmo com a criação artificial do 13º mês, a soma de horas totais em um ano ainda é 8760, como deveria ser. Isso acontece pois este mês é feito assumindo que 0,5 dia de cada mês estará sujeito a carga de ponta. Este é apenas um recurso matemático com o intuito de ponderar os meses em relação aos seus graus-dia, de acordo com suas temperaturas médias, e, assim, conseguir uma distribuição de carga anual condizente com as condições climáticas da região estudada.

Com o valor de 4266,1 horas anuais úteis para o caso de São Paulo/Congonhas, encontra-se a carga de refrigeração, através da Eq. 5, que relaciona o consumo específico (Co_{esp_i}) com as horas úteis no ano (h_{ano}):

$$C_i \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{Co_{esp_i} \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}{\sum_{mês}^{13} h_{u_i} [h]} * 1000 = \frac{Co_{esp} \left[\frac{kWh}{m^2} \right]}{h_{ano} [h]} * 1000 \quad (5)$$

Deste modo, obteve-se a carga específica de cada um dos tipos de construção.

Para simplificação de cálculo, a carga foi feita numa base média para todas as construções de cada tipo (mostrado na Tab. 3.5). Por exemplo, ao invés de simular uma carga para um prédio de 5 andares e simular outra carga para um prédio de 8 andares, fez-se uma simulação média para os prédios entre 4 e 10 andares, que é um dos 19 tipos de construção deste estudo. Assim, calculadas as cargas média, estas foram atribuídas para cada uma das 66 construções existentes, de acordo com o seu tipo pertencente.

Para simplificar ainda mais o modelo da região, em vez de trabalhar com os dados de entrada de 66 construções, estas foram agrupadas por região nos 11 condomínios, cada um com sua carga média de refrigeração. A Tab. 4.3 apresenta as cargas de refrigeração por condomínio.

Tabela 4.3 - Carga de Refrigeração de cada condomínio

Condomínio	Número de Prédios	Carga de Refrigeração (W/m ²)
1	7	95,3
2	3	84,9
3	6	91,7
4	8	93,3
5	8	98,3
6	6	104,9
7	7	100,4
8	5	97,5
9	8	97,7
10	4	93,9
11	4	85,7

4.4.2 Rede de Distribuição de Frio

Para o dimensionamento da tubulação que distribuirá a água gelada, é necessário fornecer a **Temperatura de Retorno**, a **Temperatura de Fornecimento** da água, o **Comprimento das linhas principais** de tubos, com a respectiva relação entre quais condomínios são abastecidos por cada seção e o **Comprimento das linhas secundárias** de tubos, como visto na Fig. 4.3.

A temperatura de retorno (T_{ret}) e a temperatura de fornecimento (T_{forn}) são comumente usadas com valores padrões para fornecimento de água gelada, que são, respectivamente, 12 °C e 7 °C [ASHRAE, 2009].

A Fig. 4.9 apresenta um esquema de como a distribuição de frio seria feita, para poder ser estimado o fluxo de água para cada parte do condomínio e, assim, dimensionar-se qual diâmetro de tudo é necessário em cada trecho da rede.

Os traços em azul mais grossos representam a linha principal, e os traços mais finos representam a linha secundária de distribuição. A linha principal traça vias arteriais para transportar a água para as regiões pelas galerias no subsolo das ruas, a linha secundária é composta de tubos menores, que saem da linha principal e abastecem os prédios individualmente.

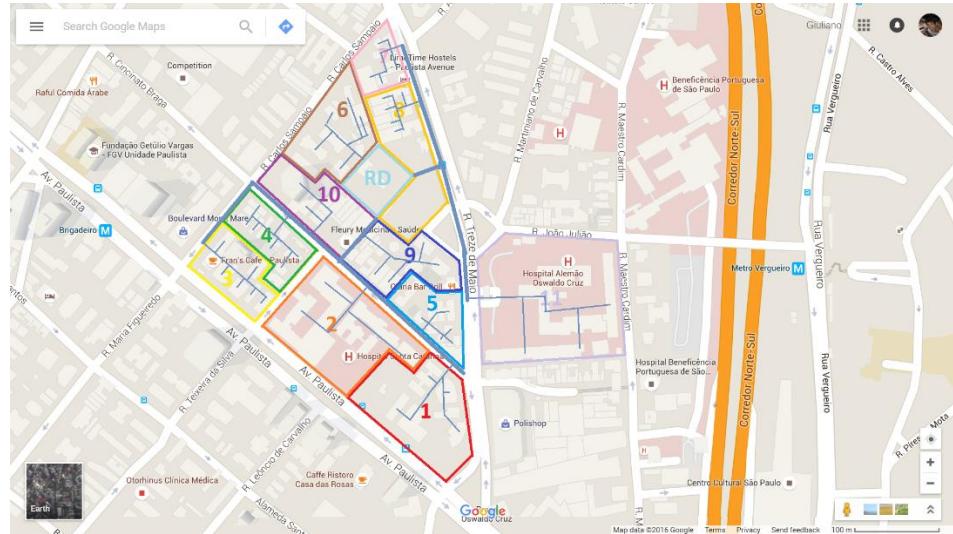


Figura 4.8 - Esquema de projeto de rede de distribuição de frio

A Tab. 4.4 mostra a relação entre os trechos (secções) e quais condomínios serão atendidos por eles.

Tabela 4.4 - Mapa de distribuição da tubulação de frio

Seção	Comprimento (m)	O condomínio é atendido por esta secção de tubo ? (sim/não)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Secção 1	104	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não
Secção 2	112	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
Secção 3	90	Não	Não	Sim	Não							
Secção 4	226	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Secção 5	201	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Secção 6	174	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Comprimento do tubo da linha de distribuição secundária por condomínio												
		60	100	50	50	40	60	40	40	40	50	60

4.4.3 Projeto de Produção de Eletricidade

O preço, assim como na seção 4.4.1, é de R\$ 0,27489 para o caso comum e R\$ 0,26909 no resfriamento distrital, definido nas mesmas condições.

A carga de ponta acima da média mensal, definida em porcentagem, é de 50%, utilizado como valor típico do RetScreen (2014).

O cálculo de distribuição mensal de carga média bruta (C_{EE_B}) de eletricidade é feito de maneira semelhante à carga. O consumo de energia elétrica (Co_{EE}) de cada mês de cada tipo de construção é oferecido pelo relatório do S3E, em quilowatt-hora. Mas, nesse caso, não é necessário encontrar o número de horas úteis, pois o consumo calculado pelo S3E é feito com base nas horas totais de um mês. Assim, basta dividir o consumo (Co_{EE}) pelas horas de cada mês ($h_{mês}$) como mostra a Eq. 6.

$$C_{EE_B} = \sum_{construção}^{67} \frac{Co_{EE}}{h_{mês}} \quad (6)$$

Assim, a carga média bruta é a soma de todas as cargas médias parciais de cada construção. Lembrando que para simplificação de cálculos, cada construção usa um valor de carga média a partir do seu respectivo tipo (dos 19 tipos aqui definidos) de construção para qual foi simulado no S3E. A Tab. 4.5 mostra os dados de entrada de carga média bruta para cada mês.

Tabela 4.5 - Carga bruta média mensal da soma de todos os condomínios

Mês	Carga Bruta Média [kW]
Janeiro	40.200
Fevereiro	41.700
Março	39.600
Abril	37.000
Maio	32.500
Junho	29.800
Julho	28.900
Agosto	30.100
Setembro	31.000
Outubro	32.300
Novembro	35.800
Dezembro	37.700

5. RESULTADOS

5.1 Projeto de Refrigeração

A Carga de Ponta de Frio (C_p) foi calculada através da Eq. 7,

$$C_p = \sum_{condomínio}^{11} C_i \cdot A_i \quad (7)$$

Para o projeto proposto o valor de C_p foi de 24.204 kW.

O Consumo Anual de Frio (Co_f) foi calculada através da Eq. 8, multiplicando-se a carga de refrigeração pela área de condomínio e depois pelas horas úteis anuais de uso de equipamentos de refrigeração. O valor é multiplicado por 10^{-6} para que seja convertido de watt-hora para megawatt-hora.

$$Co_f = \sum_{condomínio}^{11} C_i \cdot A_i \cdot h_u \cdot 10^{-6} [MWh] \quad (8)$$

Para o projeto proposto o valor de Co_f foi de 109.255 MWh.

O cálculo do Custo Total de frio é dado pelo valor de consumo (Co_f) multiplicado pelo preço da eletricidade (p_{EE}), em reais por quilowatt-hora e multiplicado por 1000 para compatibilização de unidades.

$$Cu_f = 1000 \cdot Co_f \cdot p \quad (9)$$

Para o projeto proposto o valor de Cu_f foi de **R\$ 30.033.106,95/ano.**

5.2 Rede de Distribuição de Frio

A soma dos comprimentos das seções de tubo principais (L_{DF1_i}) resultam no comprimento total de linha primária. O mesmo processo é feito para as linhas secundárias de tubo de cada condomínio (L_{DF2_j}). As Eqs. 9 e 10 mostram a soma.

$$L_{DF1} = \sum_i^6 L_{DF1_i} \quad (10)$$

$$L_{DF2} = \sum_j^{11} L_{DF2_j} \quad (11)$$

Como soma desse valores, há 907 m de comprimento de linha principal (L_{DF1}) e 650 m de comprimento de linhas secundárias (L_{DF2}).

Para o cálculo do custo desta rede, existe uma fórmula interna utilizada pelo *RetScreen*. O custo de distribuição de frio (C_{DF}), apresentado na Eq. é composto por 3 parcelas: custo dos tubos da linha principal de distribuição (C_{DF1}), ou seja, custo dos tubos que levam a carga térmica dos resfriadores às sub-regiões, custo dos tubos da linha secundária de distribuição (C_{DF2}), ou seja, custo dos tubos que se ramificam da linha principal e são ligados à cada construção dentro de uma sub-região, e, por fim, custo da estação de transferência de energia (C_{DFe}).

$$C_{DF} = C_{DF1} + C_{DF2} + C_{DFe} \quad (12)$$

$$C_{DF1} = \sum_i l_{DF1_i} * Cu_{tubo_i} \quad (13)$$

$$C_{DF2} = \sum_i l_{DF2_i} * Cu_{tubo_i} \quad (14)$$

$$C_{DFe} = Cu_{potins} * C_p, \text{ sendo } Cu_{potins} \begin{cases} 548 \frac{R\$}{kW}, & \text{se } C_p \leq 600kW \\ 227 \frac{R\$}{kW}, & \text{se } C_p > 600kW \end{cases} \quad (15)$$

O custo dos tubos da linha principal de distribuição (C_{DF1}), apresentado na Eq. 13, depende do custo por metro (Cu_{tubo}), que depende do diâmetro nominal do tubo na seção, multiplicado pelo comprimento de tubo com aquela seção (l_{DF1}). O custo dos tubos da linha secundária, apresentados na

Eq. 14, por analogia, seguem a mesma fórmula. O custo da estação de transferência de energia (C_{DFe}), apresentado na Eq. 15, é simplesmente um custo base ($C_{u_{potins}}$) multiplicado pela potência instalada, equivalente à soma da carga de ponta (C_p).

Desta forma, com todas as seções contabilizadas, o custo total de distribuição de energia (C_{DF}) é de **R\$ 1.700.411,00** (valor inicial incremental, não cumulativo), sendo R\$ 552.623,00 destinados à linha principal, R\$ 179.197,00 destinados à linha secundária e R\$ 968.590,00 destinados à estação de transferência de energia.

5.3 Projeto de Produção de Eletricidade

A carga de pico anual é dada pela Eq. 16, sendo o valor máximo mensal com o acréscimo da porcentagem de carga de ponta acima da média mensal (γ). Lembrando que, como valor base, $\gamma = 50\%$.

$$C_{EEp\text{anual}} = \max_{\text{anual}} C_{EE_B} * (1 + \gamma) \quad (16)$$

Sendo assim, $C_{EEp\text{anual}} = 62.498 \text{ kW}$.

O consumo anual total de eletricidade (Co_{EEano}) é o produto da carga bruta pelas horas úteis utilizadas, assim como descrito na Seç. 4.1. A Eq. 17 descreve seu cálculo.

$$Co_{EEano} = \sum_{\text{mês}}^{ano} C_{EE_B} * h_{u_i} \quad (17)$$

Como valor final, tem-se $Co_{EEano} = 306.327 \text{ MWh}$.

Quanto ao custo total de eletricidade, basta multiplicar-se a demanda pelo preço da tarifa de energia elétrica para o caso sem o resfriamento distrital,

sendo assim, lembrando que $p_{EE} = R\$ 0,27489$, tem-se $Cu_{EE} = R\$ 84.233.718,00/ano$.

5.4 Escolha de Equipamentos

5.4.1 – Produção de Frio

Tendo em vista a carga de ponta de frio $C_p = 24.204 \text{ kW}$, através da lista de equipamentos do RetScreen (2014), escolheu-se 2 resfriadores elétricos da Mitsubishi Electric, modelo AART-250I com capacidade de 8.791 kW ou 2.500 TR cada.

Este resfriador é da categoria industrial da Mitsubishi Electric, designada para grandes fábricas e sistemas de resfriamento distrital. O COP nominal deste resfriador é 6,84 e o gás de compressão é o HFC-134a, um refrigerante que não aflige a camada de ozônio da atmosfera.

Algumas das especificações essenciais são descritas na Tab. 5.1:

Tabela 5.1 - Especificações do resfriador elétrico de compressão centrífuga AART-250I

Modelo	AART-250I
Capacidade de Refrigeração	8.791 kW ou 2.500 TR
Temperatura da Água Gelada	12°C (entrada) / 7°C (saída)
Fluxo de Água Gelada	Até 1527 m³/h
Número de Passes	2
COP	6,84
Potência de Entrada	1.258 kW (60Hz)

A instalação de 2 unidades desse resfriador de compressão é capaz de fornecer anualmente 108.308 MWh em refrigeração, o que corresponde a 99,1% do consumo anual de 109.255 MWh pela região do Treze de Maio.

Quanto à carga, o equipamento pode desenvolver, com 100% de sua capacidade, 17.582 kW (ou 5.000 TR), que corresponde a 72,6% da carga de ponta, estimada na Seç. 5.1 em 24.204 kW .

Para o suprimento da carga de ponta em horários de pico nos dias mais exigentes do ano, que se concentram em janeiro e fevereiro, os meses mais quentes na localização geográfica da região, serão utilizados compressores de pistão da Carrier, modelo 30GTN-420. Estes compressores funcionam à base de HCFC-22 e possuem um COP nominal de 2,81.

Cada um deles tem a capacidade de desenvolver 1.426 kW , sendo assim, 5 unidades deste compressor irão suprir a necessidade dos 6.621 kW faltantes durante os horários de ponta, podendo gerar 7.128 kW . Quanto ao consumo total, qual restava 0,9% para ser fornecido anualmente, é perfeitamente atendido. A utilização destes compressores seria capaz de gerar mais de 60 MWh caso operassem em carga máxima durante o ano todo, mas uma vez que restam apenas 947 MWh para preencher o consumo da região do Treze de Maio, sua operação será apenas para situação de extrema demanda durante o ciclo anual.

A seleção foi feita de maneira pragmática, considerando que dentro dos catálogos disponíveis, o coeficiente de performance (COP) e a capacidade de fluxo de água gelada eram mais eficientes nos equipamentos de maior porte. Na seleção do resfriador de absorção, nos catálogos da Mitsubishi Electric (2014), pode-se observar que existem 2 linhas principais de resfriadores de absorção: os ETI, padrões para uso em indústria de pequeno e médio porte, shopping centers, prédios comerciais; para grande escala existem os AART-I, que são feitos para a indústria de grande porte e sistemas de resfriamento distrital. Os ETI compreendem uma capacidade entre 527 a 2.461 kW (150 a 700 TR), enquanto os AART-I tem a capacidade variando de 809 a 17.581 kW (230 a 5.000 TR). Sendo assim, foi escolhido o resfriador com maior capacidade da linha AART, o AART-250I. Deve-se observar que para capacidades acima de 8.791 kW , não existem valores catalogados do equipamento, pois são muito grandes e feitos

apenas por encomenda por orçamento negociado. Por isso, foi escolhido aquele com maior capacidade dentro do que poderia ter informações extraídas em catálogos.

Na seleção do compressor, existem inúmeros fabricantes com uma grande variedade de modelos. Para simplificação do problema, foi escolhido o compressor com maior capacidade nas opções existentes dentro da biblioteca interna do Retscreen. Assim, o Carrier 30GTN-420 foi escolhido.

5.4.2 – Produção de Energia Elétrica

Para a geração de energia elétrica, uma turbina a gás de ciclo combinado é utilizada como tecnologia de base. Para o porte de projeto que está em pauta, ou seja, inferior a 100.000kW, existem alguns modelos de turbina a gás de cogeração da General Electric, como o 6B.03.

O 6B.03 gera cerca de 44 MW num ciclo simples, que aumenta 50% quando combinado com um ciclo de turbina à vapor, atingindo 67MW de potência. Seu PCI (poder calorífico inferior) é de 6.995 KJ/KWh, eficiência geral de 51,5% e carga mínima de funcionamento 57%. A temperatura de superaquecimento é de 549°C, saturando a 285°C. A pressão de operação é 69 bar e de saída é 460 kPA a 149°C. Para este ciclo combinado, é possível que seja recuperado 69% do calor gerado no ciclo a gás para alimentar a fonte quente do ciclo de vapor e a água de retorno estará a 50°C.

Em suma, a turbina em ciclo combinado terá 3.747 kW de potência do vapor, 47.247 kW de potência total das turbinas, 197.526 MWh fornecidos à carga para abastecer os prédios e 194.008 MWh exportados e vendidos para a rede.

Operando em potência máxima sempre e acompanhando as cargas de pontas em momentos singulares de pico, estima-se que o combustível necessário será 304,3GJ/h, com uma produção de vapor de 9,26kg/kWh gerado, levando em consideração a eficiência da máquina.

5.5 Enumeração de Custos

5.5.1 – Custo com combustíveis para a produção de Energia Elétrica

Segundo a tarifação da ANEEL (2016), o preço da energia elétrica é de R\$ 269,09/MWh (p_{EE}) com o uso do sistema de resfriamento distrital e 274,89/MWh ($p_{EE'}$) sem o uso do sistema de resfriamento distrital, como já explicado na Seç. 4.4.1.

De acordo com a Copergás (2016), como pode-se observar na Tab. 5.2 o preço do combustível (gás natural), considerando uma demanda de **74.212.570 m³ (203.322 m³/dia)** de gás natural é R\$ 1,1968/m³ (com ICMS incluso), que é a categoria mais barata, por ser superior a 50.000 m³/dia de gás natural.

Tabela 5.2 - Tabela da Copergás de tarifas de gás canalizado para clientes de cogeração e energia (2016)

Faixa de Consumo (m ³ /dia)	Preço (R\$/m ³) s/ Tributos	Preço (R\$/MMBTU) s/ Tributos	Preço (R\$/m ³) c/ Tributos	Preço (R\$/MMBTU) c/ Tributos
0 a 1.000	0,9295	24,93	1,2777	34,27
1.001 a 5.000	0,9117	24,45	1,2532	33,61
5.001 a 10.000	0,903	24,22	1,2412	33,29
10.001 a 25.000	0,8942	23,98	1,2291	32,96
25.001 a 50.000	0,8818	23,65	1,2121	32,51
acima de 50.000	0,8707	23,35	1,1968	32,1

Segundo o catálogo do 6B.03 da General Electric (2016), a turbina a gás em ciclo combinado é capaz de gerar 6.995 KW/MWh de gás natural consumido.

Sendo assim, de acordo com sua disponibilidade e capacidade, o equipamento é capaz de fornecer durante o ano uma quantidade de 391.534 MWh ($Pr_{EE-CCHP}$), sendo 197.526 MWh ($Pr_{EE-CCHP}carga$) requisitados pela carga do sistema e 194.008 MWh ($Pr_{EE-CCHP}exc$), são excedentes que podem ser revendidos para a rede. Nota-se que são necessários 11.275 MWh ($Pr_{EE-compl}$) complementares, pois mesmo que haja 44,1% da energia produzida para ser revendida, não significa que a mesma seja capaz de suprir a demanda em todos os períodos do ano, pois em períodos de carga de ponta, o ciclo combinado operando a 100% da sua capacidade gera uma energia inferior àquela necessária durante esse modo de operação, sendo necessária uma quantia adicional comprada da rede. O combustível necessário para produzir toda essa energia é equivalente a 700.438 MWh ($Co_{GN-CCHP}$) ou, como dito anteriormente, 74.212.570 m³ de gás natural, sendo R\$126,80/MWh (p_{GN}).

Fazendo um balanço considerando como receita todo o capital gerado pela energia elétrica produzida e como custo todo o capital requisitado para a compra do gás natural e a compra da energia elétrica complementar, como descrito na Eq. 5.13, obtém-se o valor de **R\$ 17.751.239,00** como lucro operacional (Lu_{op}) anual referente à produção de energia elétrica. São R\$ 94.763.998,00 de custo para a energia elétrica importada da rede e para o gás natural canalizado para o resfriamento distrital (R\$ 269,09/MWh para a energia elétrica e R\$126,80/MWh para o gás natural) e R\$ 111.472.948,00 de energia elétrica produzida a ser abatido do custo, pois seria o gasto sem nenhuma implantação na área (R\$ 274,89/MWh).

$$Lu_{op} = p_{EE'} * (Pr_{EE-CCHP} - Pr_{EE-compl}) - (p_{GN} * Co_{GN-CCHP} + p_{EE} * Pr_{EE-compl}) \quad (18)$$

É importante ressaltar que o preço de revenda está sendo considerado como o mesmo daquele de compra da rede no caso do resfriamento distrital, ou seja, R\$ 269,09/MWh.

Deve-se observar que a tarifação do gás é baixa justamente por se tratar de um projeto de ciclo combinado com propostas sustentáveis, que possui incentivos fiscais, mas quando balanceada com os outros custos orçamentários, a margem não se mostra tão surpreendentemente vantajosa como aparenta.

5.5.2 – Custo com combustíveis para a produção de Frio

A carga de refrigeração, realizada pelos resfriadores elétricos, é de 17.582 kW, somando 108.308 MWh ($Co_{GN-chill}$) produzidos de frio, através do gás natural, durante o ano, que resultam em **16.393.424 m³** de gás natural (154.725 MWh com 0,7 de COP). O compressor, responsável por gerar o frio complementar necessário em momentos de pico, possui uma carga de 7.128 kW, sendo produzidos apenas **947 MWh** ($Co_{EE-chill}$), por eletricidade, uma vez que os resfriadores já cobrem 99,1% da produção. A partir do mesmo preço do gás natural e da energia elétrica utilizados para calcular os gastos com abastecimento de energia elétrica, calcula-se que **R\$ 19.847.339,36** são necessários para cobrir os gastos com refrigeração.

5.5.3 – Custo com equipamentos

Deve-se ressaltar que equipamentos de porte extremamente grande, como os utilizados neste caso, não possuem preço de varejo disponível em seus catálogos, pois são negociados e orçamentados dependendo da compra realizada pelo cliente. Sendo assim, os preços enunciados para este problema são simples projeções lineares a partir dos equipamentos menores disponíveis no mercado com preço tabelado aplicando uma regra de proporção de acordo com sua potência.

Tabela 5.3 - Tabela utilizando preços de equipamentos com preço aberto em mercado para estimar o preço dos equipamentos utilizados neste problema (Alibaba,2016)

Equipamento	Tipo	Potência	Unidades	Preço (Estimado) Total
CLK 16DHN	Resfriador de Absorção	2300 kW	1	R\$ 2 milhões
Yuchai ERC-550SALCY	Compressor Elétrico	400 kW	1	R\$ 420 mil
Shenzhen GNPG	Turb. A Gás	500 kW	1	R\$ 600 mil
Mitsubishi Electric AART-250I	Resfriador Elétrico Centrífugo	8.791 kW	2	(R\$ 16 milhões)
Carrier 30GTN-420	Compressor Elétrico	1.426 kW	5	(R\$ 7,5 milhões)
General Electric 6B.03	Turb. A Gás	67.000 kW	1	(R\$ 80 milhões)

Somando o preço de todos esses equipamentos (os 3 últimos, os 3 primeiros serviram apenas como referência para preço), tem-se o custo de **R\$ 105.200.411,00**.

5.6 Rendimento de um sistema de resfriamento distrital

A partir da Eq. 17, pode-se definir o rendimento de um sistema de resfriamento distrital como sendo a relação entre a demanda de energia no sistema de resfriamento individual (caso de referência) e no sistema de resfriamento distrital (caso proposto).

$$\eta_{RD} = \frac{De_{RD\text{ano}}}{De_{RI\text{ano}}} \quad (19)$$

É importante destacar que demanda e consumo são tratados como parâmetros bem distintos para o problema. O consumo pelos edifícios continuará sendo o mesmo, em média ao ano, pois atribui-se que o perfil de uso de energia da região se mantém constante ao longo dos anos, mesmo que haja novas construções e reformas, esse valor é fixo. A demanda é o valor da energia que o consumo, que é constante na média anual, requisita dos equipamentos na forma de combustível, seja ele gás natural ou energia

elétrica. Com o sistema individual, toda a demanda é satisfeita pela rede elétrica da cidade, já no sistema de resfriamento distrital, a demanda é suprida pelo sistema de cogeração, que utiliza uma mistura de gás natural nas turbinas e nos resfriadores de absorção e energia elétrica para os compressores e diretamente para os equipamentos das construções em momentos de pico.

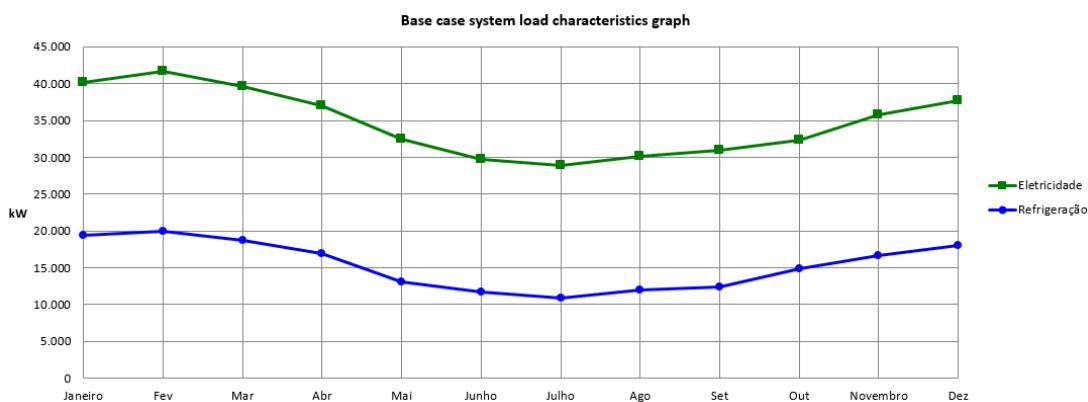


Figura 5.1 - Curva de carga de ponta energética necessária para cobrir a demanda no caso do sistema individual de refrigeração

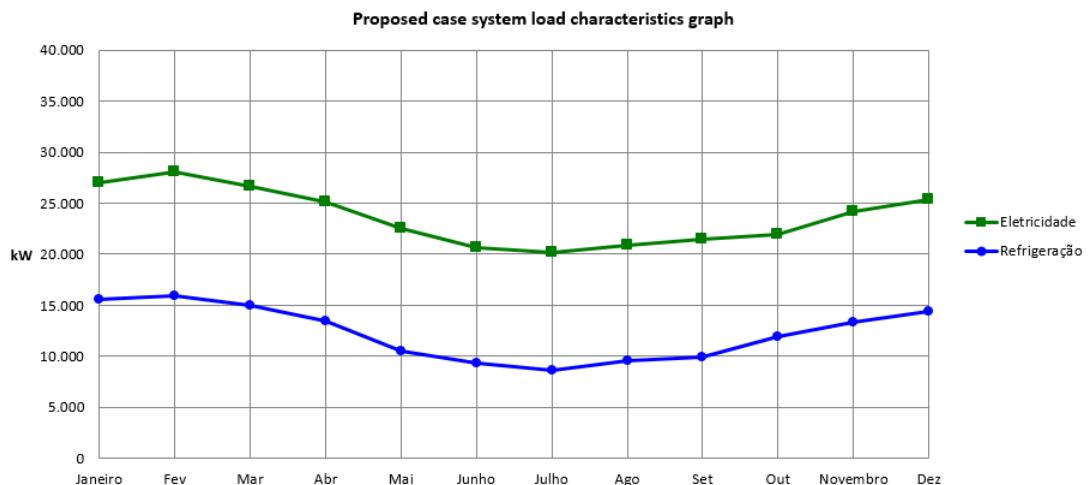


Figura 5.2 - Curva de carga de ponta energética necessária para cobrir a demanda no caso do sistema de refrigeração distrital

As Fig. 5.1 e Fig. 5.2 mostram mês a mês a carga energética do sistema da região do Treze de Maio. O pico de carga de energia para o sistema individual é de 44.080 kW (30.255 kW em refrigeração), enquanto para o

sistema de cogeração é de 35.264 kW (24.204 kW em refrigeração). Da mesma forma, a demanda total anual ($De_{RI_{ano}}$) de energia no caso comum é de 260.804 MWh, enquanto a demanda total anual de energia no caso do sistema de cogeração ($De_{RD_{ano}}$) é de 208.043 MWh, ou seja, o rendimento da cogeração (η_{RD}) é de 79,8%.

6. ANÁLISE FINANCEIRA

6.1 Hipóteses Macroeconômicas

Para uma estimativa do fluxo de caixa a longo prazo, é necessário que alguns parâmetros financeiros sejam determinados. São eles:

- Taxa de inflação (em %);
- Vida do projeto (em anos);
- Razão de dívida;
- Incentivos e subsídios.

Para uma estimativa da taxa de inflação, recorre-se a uma consulta das séries históricas do Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M), calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), é o índice mais recomendado para análises relativas ao setor de construção civil e energia, diferentemente do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A), calculado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), associado a uma cesta de produtos comuns às famílias de rendimento entre 1 e 40 salários mínimos (Banco Central do Brasil, 2016).

A Tab. 6.1 apresenta os valores acumulados anuais do IGP-M entre 2000 e 2015.

Tabela 6.1 - Série histórica do IGP-M desde 2000 até 2015 (Banco Central, 2016)

Ano	Índice Acumulado no Ano (em %)
2015	10,5%
2014	3,7%
2013	5,5%
2012	7,8%
2011	5,1%
2010	11,3%
2009	-1,7%
2008	9,8%
2007	7,7%
2006	3,8%
2005	1,2%
2004	12,4%
2003	8,7%
2002	25,3%
2001	10,4%
2000	10,0%

Entre as várias oscilações relacionadas ao cenário político-econômico de cada ano, a FGV utiliza-se de modelos e ferramentas econômicas para gerar previsões desses índices, que em 2015 acumulado foi de 10,5%, mas para o ano de 2016 está projetado em 11,49% (FGV, 2016). Num cenário de crise, com expectativa de baixa de juros para os próximos anos e melhoria do cenário econômico, como apresentado na Fig. 6.1, a tendência é que a inflação diminua e se estabilize, sendo assim, estimá-la com o valor projetado atual superestima os custos, uma vez que essa tendência não terá mesma acentuação em 5 anos. Como convenção de orçamento empresarial, os custos serão mantidos majorados, para que o pior cenário possa ser previsto.

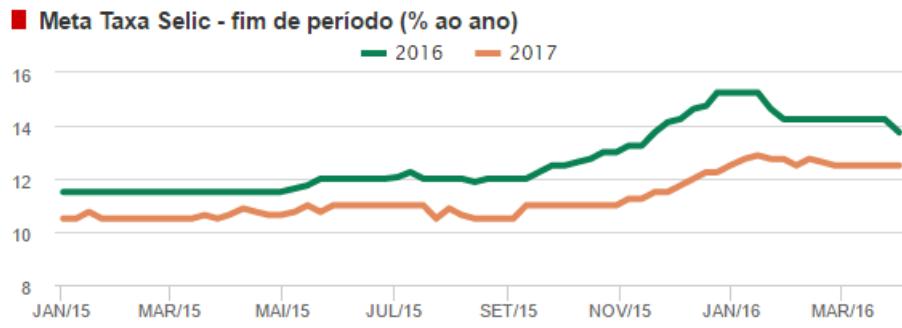


Figura 6.1 - Projeção Meta SELIC (taxa basal de juros da nação) para 2017

Sendo assim, será utilizado o valor de 11,49% como taxa de inflação prevista durante o projeto.

Como estimativa do tempo de vida de projeto, será utilizada a estimativa de Pinheiro (2014) de 20 anos.

Estima-se que um valor adequado para contrair como dívida em um projeto de infraestrutura é de 50% a 80% do investimento total, que pode ser captado através de títulos de dívida, mais especificamente debêntures no caso de projetos de energia, pagos num período entre 5 a 10 anos, em maioria (DAMODARAN, 2002). Para este caso, será utilizada uma razão de dívida de 80%, abatida em 8 anos.

O Governo Federal incentiva o desenvolvimento de projetos de gás natural negociando taxas de apenas 4% ao ano de juros, através do BNDES, sendo bem atrativas financeiramente, de modo que as empresas de energia podem ter um alívio orçamentário ao abater as dívidas contraídas. (Ministério de Minas de Energia, 2007). Sendo assim, esta será a taxa utilizada no cálculo de retorno de investimento.

Por fim, deve-se adotar a parcela destinada ao Imposto de Renda, como sendo 27,5% sobre o lucro. (Receita Federal, 2016)

6.2 Fluxo de Caixa Simplificado

O custo inicial de projeto é estimado em **R\$ 105.200.411** dedicados à compra de equipamentos do ciclo combinado e do ciclo de absorção, além da tubulação necessária para a distribuição de frio pela região.

Considerando todo o combustível (energia elétrica) necessário para suprir a demanda da região, considerando que tudo fosse importado da rede elétrica já existente (caso comum, ou seja, SEM o resfriamento distrital), seriam gastos **R\$ 84.206.102** anualmente.

Diferentemente, considerando todo o combustível (energia elétrica e gás natural) necessário para suprir a demanda da região utilizando o sistema de resfriamento distrital (ciclo de cogeração e ciclo de absorção), seriam gastos **R\$ 111.472.948** anualmente.

A dívida, que compõe 70% desse investimento, abatida em 5 anos a uma taxa de juros de 4% ao ano, gera o montante de **R\$ 18.904.741** no ano inicial, acumulado por juros composto.

Ainda há a parcela da energia elétrica excedente gerada, que pode ser revendida à rede pelo mesmo preço de compra, compondo uma receita de **R\$ 52.205.648** anuais.

Sendo assim, o investimento possui retorno do capital próprio em 6,2 anos, como as Tab. 6.2 e a Fig.6.2 descrevem.

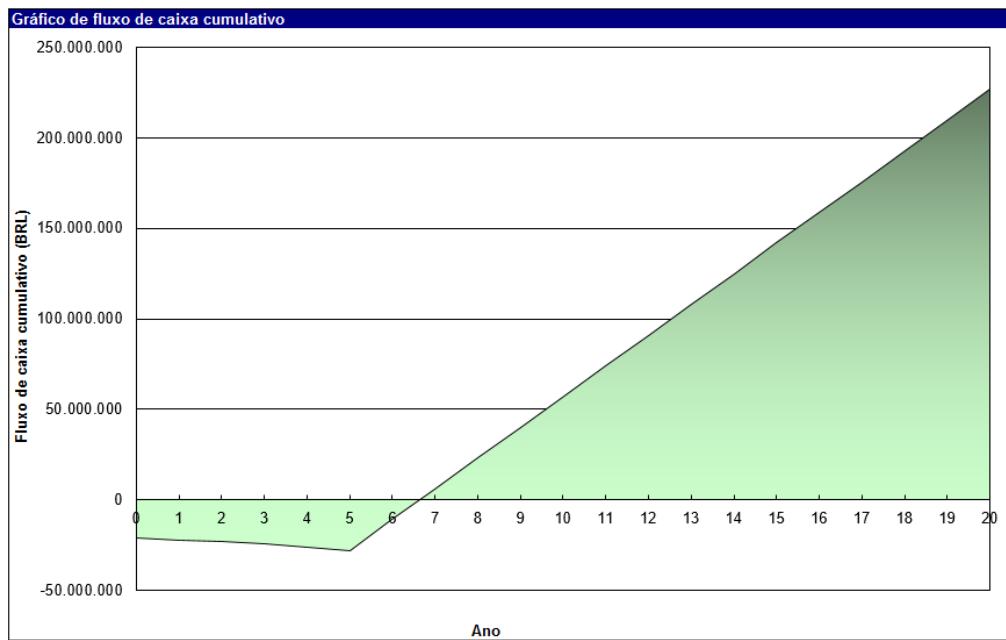


Figura 6.2 - Fluxo de Caixa projetado do resfriamento distrital considerando inflação de 11,49% a.a.

Tabela 6.2 - Listagem de Custos e Receitas de projeto

Insumo	Valor	Período
Equipamentos	(R\$ 105.200.411)	Único
Combustível – s/ Sistema Distrital	R\$ 84.206.102	Anual
Combustível – c/ Sistema Distrital	(R\$ 111.472.948)	Anual
Pagamento de Dívida	R\$ 18.904.741	Anual
Exportação de Energia Elétrica	R\$ 52.205.648	Anual

Tabela 6.3 - Descrição em tabela da Fig. 6.2, detalhando o fluxo de caixa ano a ano

Ano	Antes imposto	Após imposto	Cumulativo
#	R\$	R\$	R\$
0	-21.040.137	-21.040.137	-21.040.137
1	6.034.060	101.656	-20.938.481
2	6.034.060	-69.266	-21.007.747
3	6.034.060	-247.024	-21.254.771
4	6.034.060	-431.893	-21.686.663
5	6.034.060	-624.156	-22.310.819
6	24.938.801	18.080.631	-4.230.188
7	24.938.801	18.080.631	13.850.443
8	24.938.801	18.080.631	31.931.074
9	24.938.801	18.080.631	50.011.705
10	24.938.801	18.080.631	68.092.336
11	24.938.801	18.080.631	86.172.967
12	24.938.801	18.080.631	104.253.598
13	24.938.801	18.080.631	122.334.229
14	24.938.801	18.080.631	140.414.860
15	24.938.801	18.080.631	158.495.491
16	24.938.801	18.080.631	176.576.122
17	24.938.801	18.080.631	194.656.753
18	24.938.801	18.080.631	212.737.385
19	24.938.801	18.080.631	230.818.016
20	24.938.801	18.080.631	248.898.647

Nota-se que o projeto está dentro dos resultados esperados para um projeto de infraestrutura acelerado com contração de dívidas por debêntures, com retorno de investimento antes dos 10 anos de projeto (DAMODARAN, 2002), acumulando ao final do tempo total de vida de projeto **R\$ 248.898.647**.

6.3 Análise de Sensibilidade ao Preço da Energia Elétrica

Ao decorrer do estudo de viabilidade, conforme os parâmetros foram sendo estabelecidos, testados e corrigidos, notou-se que o fator decisivo para a viabilidade financeira do projeto é o preço da energia elétrica: tanto para o caso de referência, ou seja, onde não existe nenhum tipo de projeto, com $p_{EE'} = R\$ 274,89/MWh$ e o custo para suprir toda a demanda de energia

elétrica da região seria R\$ 84.206.102/ano, como para o caso estudado, com a implementação do resfriamento distrital, com $p_{EE} = R\$ 269,09/MWh$ e um custo superior, uma vez que existe uma série de equipamentos (turbina a gás em cogeração com turbina a vapor, compressor, resfriador de absorção) consumindo um valor estrondoso de energia, sendo de R\$ 111.472.948/ano, mas ao mesmo tempo gerando o excedente de R\$ 52.205.648/ano em energia elétrica exportada, que garante lucro ao projeto.

Para uma melhor compreensão desses resultados, será fixado o preço de energia elétrica do caso comum, em que o valor cobrado é estabelecido como sendo o residencial comum, e o preço para o caso estudado será variado. Como variável de saída, serão observados o tempo de retorno de capital próprio (Tr_{CP}) e o fluxo de caixa acumulado ao final dos 20 anos de projeto (Lu_{20}) na Tab. 6.4. Os demais parâmetros serão todos mantidos.

Tabela 6.4 - Análise de sensibilidade ao preço da energia elétrica no caso com resfriamento distrital

Preço – Sistema Individual (R\$/MWh)	Preço – Sistema Distrital (R\$/MWh)	Tr_{CP} (anos)	Lu_{20} (R\$)
274,89	200,00	12,6	65.835.924
274,89	220,00	9,7	118.828.462
274,89	240,00	7,9	171.821.000
274,89	260,00	6,7	224.813.538
274,89	269,09	6,2	248.898.647
274,89	280,00	5,8	277.806.076
274,89	290,00	5,4	304.302.345
274,89	300,00	5,1	330.798.614

Como segundo teste, será mantido o preço do caso estudado e alterado o preço do caso comum, para observação distinta, na Tab. 6.5.

Tabela 6.5 - Análise de sensibilidade ao preço da energia elétrica no caso sem resfriamento distrital

Preço – Sistema Individual (R\$/MWh)	Preço - Sistema Distrital (R\$/MWh)	Tr_{CP} (anos)	Lu_{20} (R\$)
200,00	269,09	52,7	-84.352.212
220,00	269,09	19,1	5.091.825
240,00	269,09	10,9	93.926.520
260,00	269,09	7,6	182.761.216
274,89	269,09	6,2	248.898.647
280,00	269,09	5,9	271.595.911
300,00	269,09	3,9	360.430.607
320,00	269,09	2,1	449.265.303

Como pôde ser observado, principalmente na variação do preço da energia elétrica do caso comum, o projeto pode situar-se entre altamente lucrativo e completamente inviável, dependendo do valor de tarifa adotado durante o projeto. Os valores utilizados para este estudo se mostraram adequados e dentro do esperado, mas deve-se ressaltar que entre o início dele e o final, a tarifação mudou em torno de R\$ 40,00/MWh (Eletropaulo, 2016) entre o primeiro semestre e o segundo semestre de 2016, o que alterou bastante o fluxo de caixa projetado. Prever quanto essa tarifação se alteraria num período de 20 anos é praticamente impossível, considerando todas as variáveis macroeconômicas que podem influenciar nesse valor, sendo assim, o estudo possui uma grande margem de erro, mas permite auxiliar na tomada de decisão durante o seu processo de elaboração.

7. CONCLUSÃO

Os objetivos desse trabalho foram abordados e analisados com sucesso. Da perspectiva energética, a implantação de um sistema de resfriamento distrital iria economizar todo o gasto energético da região do Treze de Maio, utilizando ciclos termodinâmicos que cooperem (através da cogeração) de forma mais eficiente do que sistemas de refrigeração comuns. A substituição de todo o aparato de refrigeração em módulos individuais (cada domicílio, comércio e escritório com alimentação individual de refrigeração) para um sistema de cogeração que abasteça de maneira global todo aquele espaço urbano foi capaz de reduzir a demanda da rede de 260.000 MWh em energia bruta por ano para 208.000 MWh, simplesmente aumentando sua eficiência. Dessa forma, obteve-se uma redução do consumo de energia elétrica de 20%. Quanto à perspectiva financeira, há um custo elevado para o projeto, com a compra de equipamentos do sistema, tubulação, negociações de dívidas e de um suprimento enorme necessário de gás natural, além de outros fatores nem levados em consideração nesse estudo de viabilidade, como salário-hora de funcionários. Somando os elementos considerados, chega-se a um gasto inicial de R\$ 105 milhões.

Deve-se notar que o gasto com energia elétrica total é mais elevado que sem o sistema de resfriamento distrital, pois em termos absolutos, mais energia está sendo gerada do que a demanda básica. No caso de referência, há apenas o consumo de energia das construções como gasto. Já para o caso proposto com o resfriamento distrital, há o consumo de energia das construções mais o consumo de energia dos equipamentos do sistema de cogeração e por fim, uma energia excedente gerada, que é revendida posteriormente, ou seja, existem 2 parcelas a mais na contabilização dos gastos, o que eleva os custos com energia.

Assim, o custo passa de R\$ 84 milhões para R\$ 111 milhões com energia elétrica, mas, ao mesmo tempo, R\$ 52 milhões em energia elétrica excedente podem ser revendidos para a rede anualmente, abatendo os custos para R\$ 59 milhões ao invés dos R\$ 111 milhões originais.

Sendo assim, o sistema de resfriamento distrital tem um retorno de investimento de 6,2 anos, gerando um fluxo de caixa de R\$ 68 milhões em 10 anos, e R\$ 248 milhões ao fim do ciclo de vida do projeto, em 20 anos. Portanto, associados ao aumento de eficiência energética, o estudo de viabilidade do projeto mostra-se não só viável como extremamente atrativo energético e financeiramente para um possível desenvolvimento futuro no Brasil.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIBABA - ABSORPTION CHILLER FROM KOREA – Disponível em <https://www.alibaba.com/product-detail/Absorption-Chiller-from-Korea_144980091.html> . Acessado às 11:43 em 11/10/2016.
- ALIBABA – NATURAL GAS TURBINE GENERATOR 500KW - <https://www.alibaba.com/product-detail/Natural-Gas-Turbine-Generator-500kw_1317358624.html> . Acessado às 11:47 em 11/10/2016>.
- ALIBABA - REFRIGERATION COMPRESSOR UNIT - <https://www.alibaba.com/product-detail/Refrigeration-compressor-unit-Semi-Hermetic-Compressor_60065589875.html>
- ALSAQOOR, Sameh; ALQDAH, Khaled S.. **Performance of a Refrigeration Absorption Cycle Driven by Different Power Sources.** 2014. Disponível em: <http://file.scirp.org/pdf/SGRE_2014070309321299.pdf>. Acesso em: 27 maio 2016.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), ASHRAE Applications Handbook (SI) - Service Water Heating, 1997.
- American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, 2009.
- ANEEL. Tarifas para o fornecimento de energia elétrica resolução Nº 2.103 DE 28/06/2016. Válidas a partir de 04/07/2016.
- BAILES III, Allison A. **Choosing a Base Temperature for Degree Days.** 2014. Disponível em: <<http://www.greenbuildingadvisor.com/blogs/dept/building-science/choosing-base-temperature-degree-days>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Indicadores Econômicos Consolidados. Disponível em <<http://www.bcb.gov.br/pec/Indeco/Port/indeco.asp>> . Atualizado em 21 de setembro de 2016. Acessado às 11:52 em 19/09/2016.
- BRASIL. LEI Nº 8.981, DE 20 DE JANEIRO DE 1995. Código Tributário Nacional. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8981.htm . Acessado em 09/02/2017.
- BROWN, Michael. **Pc World. How to choose a server for your small business.** 2012. Disponível em: <http://www.pcworld.com/article/251993/how_to_choose_a_server_for_your_small_business.html>. Acesso em: 10 abr. 2016.
- COPERGÁS – TABELA DE TARIFAS – Disponível em <https://www.copergas.com.br/atendimento-ao-cliente/tarifas/#.WHRVD_krJPY>. Acessado às 14:30 em 18/11/2016.
- DAMODARAN, A.. Investment Valuation. Second Edition, John Wiley & Sons. New York, 2002.
- FGV - ÍNDICE GERAL DE PREÇOS DO MERCADO - IGP-M. Fundação Getúlio Vargas. Disponível em <<http://www.portalbrasil.net/igpm.htm>> . Acessado às 12:32 em 19/09/2016.
- INMETRO - RELAÇÃO DAS MARCAS, DOS SÍMBOLOS, DOS SELOS E DAS ETIQUETAS DO INMETRO, CONFORME PORTARIA INMETRO Nº 274/2014 – Disponível em <http://inmetro.gov.br/imprensa/pdf/catalogo_marcas_selos_simbolos_etiquetas_v2.pdf>. Acessado às 21:11 em 17/02/2017.
- McDOWALL, Robert (2006). Fundamentals of HVAC Systems. Elsevier. p. 3. ISBN 9780080552330.
- Ministério de Minas e Energia – ENERGIAS RENOVÁVEIS. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/galerias/arquivos/apresentacao/VI.pdf>> . Acessado às 11:23 em 17/02/2017.

- MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. Two Stage Centrifugal Chiller. Variable Stage Drive. AART-I Series. MHI Chiller. Minato-ku, Tokyo, Japan, Setembro 2014.
- PINHEIRO, A. P. B. Sistema distrital e viabilidade de aplicação. [Editorial]. ABRAVA Climatização + Refrigeração. Maio 2014. 8p.
- PORTAL ENGENHARIA E ARQUITETURA. **Resfriamento e aquecimento distrital.** Viabilidade de aplicação no Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitetura.com.br/noticias/1061/Resfriamento-e-aquecimento-distrital.aspx>>. Acesso em: 17 mai. 2016
- RETSCREEN INTERNATIONAL. **RETScreen ® Software Online User Manual:** www.retscreen.net International RETScreen ® Clean Energy Decision Support Centre RETScreen ® Software Online User Manual Combined Heat & Power Project Model. 2005. Disponível em: <[http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/0/EF620C37922EDAECC22575CB00457F21/\\$file/Retscreen Manual \(CHP\).pdf](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/0/EF620C37922EDAECC22575CB00457F21/$file/Retscreen%20Manual%20(CHP).pdf)>. 280p. Acesso em: 26 maio 2016.
- S3E Simulador Eficiência Energética em Edificações. Disponível em <<http://www.s3e.ufsc.br/>>. Último acesso em 5 de Maio de 2016 às 20:42.
- SABINE FRONING (EUROHEAT & POWER): DHC/CHP/RES A SMILE FOR THE ENVIRONMENT. Disponível em <<http://www.euroheat.org/documents/030520.Kiev.ppt>> acessado em 01/12/2014 às 14:35. Kiev 2003.
- STRUCTURE. Disponível em <http://www.bbm.me.uk/portsdown/PH_450_Energy.htm> . Acessado às 14:47 em 01/12/2014>.

A. ANEXO DE TABELAS

Construção	Andares	Área Estimada (m²)	Área Total (m²)	Finalidade da Construção
Rua Cincinatto Braga, 59	7	822	5754	Comercial
Rua Cincinatto Braga, 37	15	541	8115	Hospital
Rádio Imprensa	19	672	12768	Comercial
Caixa Econômica	14	434	6076	Comercial
Hospital Santa Catarina 1 (atendimento)	2	4601	9202	Hospital
Hospital Santa Catarina 2 (apartamentos)	13	2875	37375	Hospital
Hospital Santa Catarina 3 (infantil)	8	1001	8008	Hospital
Bradesco	6	1089	6534	Comercial
Av Paulista, 48	4	420	1680	Comercial
Av Paulista, 66	11	390	4290	Residencial
Av Paulista, 266	10	442	4420	Residencial
Av Paulista, 278	16	312	4992	Residencial
Caixa Econômica	12	959	11508	Comercial
Av Paulista, 320	20	708	14160	Comercial
Av Paulista, 352	15	599	8985	Comercial
Av Carlos Sampaio, 349	15	858	12870	Comercial
Av Carlos Sampaio, 317	2	265	530	Residencial
Av Carlos Sampaio, 305	2	185	370	Residencial
R Cincinato Braga, 291	1	257	257	Comercial
R Cincinato Braga, 321	13	364	4732	Comercial
Caixa Econômica Agência	2	523	1046	Comercial
CREFITO-3	10	612	6120	Comercial
R Teixeira da Silva, 54	12	372	4464	Comercial
R Teixeira da Silva, 122-172	8	425	3400	Residencial
Posto Shell	1	439	439	Comercial

R Cincinato Braga, 68	6	155	930	Comercial
R Cincinato Braga, 102	1	142	142	Residencial
R Cincinato Braga, 106	1	139	139	Comercial
Rua Treze de Maio, 1848	6	472	2832	Comercial
Associação Congregação de Santa Catarina	8	552	4416	Comercial
R Cincinato Braga, 184	6	223	1338	Residencial
OMA	1	369	369	Comercial
Fleury	2	2239	4478	Hospital
Estanconfor Villa Paulista	17	852	14484	Residencial
Drogasil	1	123	123	Comercial
Delta Plaza	21	523	10983	Hotel
R Carlos Sampaio, 219	14	395	5530	Residencial
Edifício Home Paulista	13	486	6318	Hotel
Residencial Park Lane	7	545	3815	Hotel
Edifício Flat Carlos Sampaio	4	232	928	Residencial
Dona Cota Boutique	2	136	272	Comercial
Fellowship Community Church	1	817	817	Igreja
R Carlos Sampaio, 75	13	344	4472	Residencial
R Carlos Sampaio, 67	6	107	642	Residencial
R Carlos Sampaio, 53	3	80	240	Residencial
R Carlos Sampaio, 41	14	333	4662	Residencial
R Treze de Maio, 1546	16	312	4992	Residencial
Abramge	4	258	1032	Comercial
LimeTime Hostel	2	129	258	Hotel
Conselho Nacional do Café	11	394	4334	Comercial
Ed. Luiz Henrique, 1866	14	323	4522	Residencial
R Treze de Maio, 1580	14	199	2786	Residencial
R Treze de Maio, 1614	12	323	3876	Residencial
Associação Sabesp	1	269	269	Comercial
Edifício Comodoro	11	361	3971	Residencial
Praça Amadeu Amaral, 90	9	286	2574	Residencial
Praça Amadeu Amaral, 94	16	347	5552	Residencial
Espetinho	1	150	150	Comercial

Lotérica	1	45	45	Comercial
R Treze de Maio, 1832	14	409	5726	Residencial
R Treze de Maio, 1854	11	126	1386	Comercial
R Treze de Maio, 1874	8	180	1440	Comercial
Hospital Alemão Oswaldo Cruz (atendimento)	2	3524	7048	Hospital
Hospital Alemão Oswaldo Cruz (salas de consulta)	7	1888	13216	Hospital
Hospital Alemão Oswaldo Cruz (apartamentos)	7	980	6860	Hospital
Hospital Alemão Oswaldo Cruz (infantil)	6	1662	9972	Hospital

Tabela A.1 - Lista de construções na área do Treze de Maio incluindo número de andares, área do andar estimada e área total

Construção	Tipo	Demanda (MWh/ano)	Refrigeração (MWh/ano)
Rua Cincinatto Braga, 59	5	350,0	106,8
Rua Cincinatto Braga, 37	11	923,5	297,4
Rádio Imprensa	6	885,6	271,9
Caixa Econômica	4	17,1	1,9
Hospital Santa Catarina 1	12	796,9	91,6
Hospital Santa Catarina 2 (apartamentos)	13	8918,9	2265,4
Hospital Santa Catarina 3 (infantil)	14	867,8	242,1
Bradesco	5	350,0	106,8
Av Paulista, 48	5	350,0	106,8
Av Paulista, 66	3	257,5	52,5
Av Paulista, 266	3	257,5	52,5
Av Paulista, 278	3	257,5	52,5
Caixa Econômica	6	885,6	271,9
Av Paulista, 320	6	885,6	271,9
Av Paulista, 352	6	885,6	271,9
Av Carlos Sampaio, 349	6	885,6	271,9
Av Carlos Sampaio, 317	1	75,8	14,6
Av Carlos Sampaio, 305	1	75,8	14,6

R Cincinato Braga, 291	4	17,1	1,9
R Cincinato Braga, 321	6	885,6	271,9
Caixa Econômica Agência	4	17,1	1,9
CREFITO-3	6	885,6	271,9
R Teixeira da Silva, 54	6	885,6	271,9
R Teixeira da Silva, 122-172	2	498,0	132,0
Posto Shell	4	17,1	1,9
R Cincinato Braga, 68	5	350,0	106,8
R Cincinato Braga, 102	1	75,8	14,6
R Cincinato Braga, 106	4	17,1	1,9
Rua Treze de Maio, 1848	5	350,0	106,8
Associação Congregação de Santa Catarina	5	350,0	106,8
R Cincinato Braga, 184	2	498,0	132,0
OMA	4	17,1	1,9
Fleury	15	400,5	50,9
Estanconfor Villa Paulista	3	257,5	52,5
Drogasil	4	17,1	1,9
Delta Plaza	9	2100,3	569,2
R Carlos Sampaio, 219	3	257,5	52,5
Edifício Home Paulista	9	2100,3	569,2
Residencial Park Lane	8	906,7	227,6
Edifício Flat Carlos Sampaio	2	498,0	132,0
Dona Cota Boutique	4	17,1	1,9
Fellowship Community Church	10	66,4	23,3
R Carlos Sampaio, 75	3	257,5	52,5
R Carlos Sampaio, 67	2	498,0	132,0
R Carlos Sampaio, 53	1	75,8	14,6
R Carlos Sampaio, 41	3	257,5	52,5
R Treze de Maio, 1546	3	257,5	52,5
Abramge	5	350,0	106,8
LimeTime Hostel	7	59,1	11,9
Conselho Nacional do Café	6	885,6	271,9
Ed. Luiz Henrique, 1866	3	257,5	52,5
R Treze de Maio, 1580	3	257,5	52,5
R Treze de Maio, 1614	3	257,5	52,5
Associação Sabesp	4	17,1	1,9

Edifício Comodoro	3	257,5	52,5
Praça Amadeu Amaral, 90	2	498,0	132,0
Praça Amadeu Amaral, 94	3	257,5	52,5
Espetinho	4	17,1	1,9
Lotérica	4	17,1	1,9
R Treze de Maio, 1832	3	257,5	52,5
R Treze de Maio, 1854	3	257,5	52,5
R Treze de Maio, 1874	2	498,0	132,0
Hospital Alemão Oswaldo Cruz	16	615,1	72,6
Hospital Alemão Oswaldo Cruz	17	2953,6	705,9
Hospital Alemão Oswaldo Cruz	18	1622,3	395,8
Hospital Alemão Oswaldo Cruz	19	1021,6	271,7

Tabela A.2 - Relação entre construções e seu consumo de acordo com seu tipo