

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

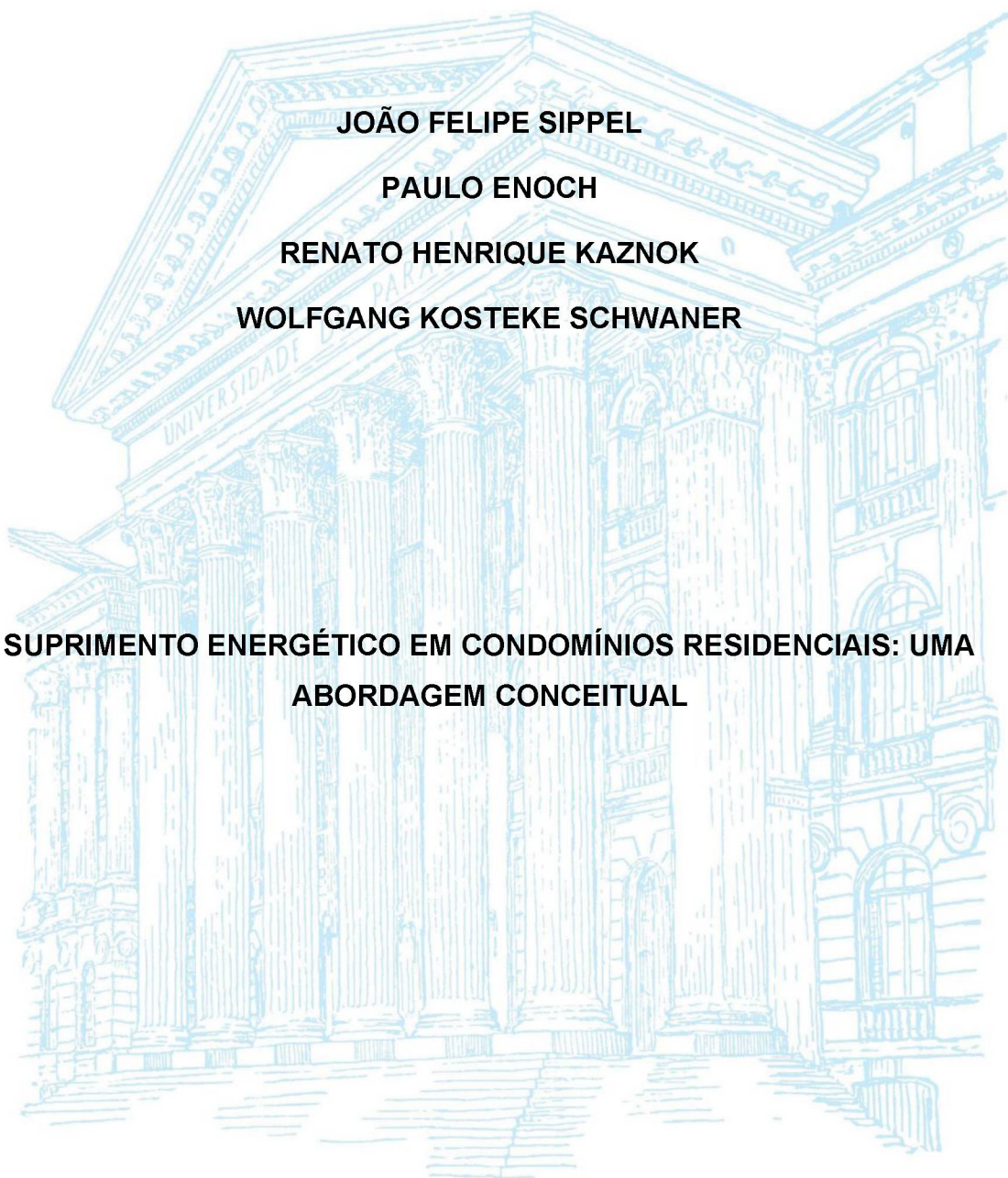
JOÃO FELIPE SIPPEL

PAULO ENOCH

RENATO HENRIQUE KAZNOK

WOLFGANG KOSTEKE SCHWANER

**SUPRIMENTO ENERGÉTICO EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS: UMA
ABORDAGEM CONCEITUAL**



CURITIBA

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO FELIPE SIPPEL

PAULO ENOCH

RENATO HENRIQUE KAZNOK

WOLFGANG KOSTEKE SCHWANER

**SUPRIMENTO ENERGÉTICO EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS: UMA
ABORDAGEM CONCEITUAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

JOÃO FELIPE SIPPEL

PAULO ENOCH

RENATO HENRIQUE KAZNOK

WOLFGANG KOSTEKE SCHWANER

**SUPRIMENTO ENERGÉTICO EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS: UMA
ABORDAGEM CONCEITUAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Prof(a). Dr(a)./Msc. _____

Orientador(a) – Departamento _____, INSTITUIÇÃO

Prof(a). Dr(a)./Msc. _____

Departamento _____, INSTITUIÇÃO

Prof(a). Dr(a)./Msc. _____

Departamento _____, INSTITUIÇÃO

Cidade, ___ de _____ de 2019.

Mantenha essa página em branco para inclusão do termo/folha de aprovação assinado e digitalizado.

RESUMO

O desenvolvimento da sociedade e aumento populacional têm levado a um aumento do consumo energético e da geração de resíduos, o que representa impactos significativos ao meio ambiente. Em 2018, o consumo de energia residencial no Brasil foi de 25,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. Deste montante, 46,5% decorre do uso da energia elétrica. No ano de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica promulgou a resolução normativa 487 e posteriormente a resolução 687/15, que permitem a compensação de parte de consumo de energia elétrica das residências por meio da geração distribuída, promovendo o uso de energias renováveis ou da cogeração qualificada. Apesar disto, em 2018, 0,63% do consumo residencial foi atendido pela a micro e a minigeração de energia elétrica, previstas nestas resoluções. Neste contexto, o presente trabalho avaliou o potencial de uso de soluções coletivas em dois condomínios para atendimento do consumo de energia térmica e elétrica das residências por meio de fontes contempladas pelas resoluções da ANEEL na modalidade de compensação. Também foram avaliados o potencial de uso da energia termossolar e de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos. Por meio de estudo de caso, buscou-se avaliar as melhores opções para um condomínio vertical e outro horizontal da cidade de Curitiba. Sob o ponto de vista de análise técnica e econômica, os resultados deste trabalho apontam como promissoras as soluções de uso da cogeração no condomínio vertical e o uso da energia solar no condomínio horizontal, tanto para aquecimento de água, de forma individual, quanto para geração fotovoltaica de forma coletiva. O compartilhamento das instalações de geração de energia fotovoltaica traz como grande vantagem a redução de custos de investimentos obtida por meio da aplicação de inversores de frequência de menor custo por unidade de potência gerada. Por outro lado, o potencial de obtenção de energia, a partir dos resíduos sólidos urbano, encontra restrições quanto a sua escala, mesmo quando considerado um condomínio com 604 moradores. Desta forma, este tipo de aproveitamento poderia ser melhor explorado à nível municipal.

Palavras chave: eficiência energética, energia solar, biodigestor, condomínio residencial

ABSTRACT

The Social development and population growth have led to an increase on energy consumption and waste generation, which have significant impacts on the environment. In 2018, the energy consumption of residential sector in Brazil was 1 million of TJ, and electric energy represents 46,5% of this amount. In 2012, the Brazilian Electric Energy Agency (ANEEL) issued the normative resolution 487, revised by resolution 687/2015, which allow the compensation of energy consumption by home own generation, promoting the use of renewable energy and cogeneration. However, in 2018, 0.63% of residential consumption was met by the micro and mini-generation of electricity predicted in these resolutions. In this context, the present work analyzed the potential of supplying thermal and electrical consumption of two condominiums through sources contemplated by ANEEL resolutions, in the compensation modality. The potential for thermosolar energy use and biogas generation from anaerobic digestion of urban solid waste were also evaluated. Through case studies, the best options for a vertical and a horizontal condominium in the city of Curitiba were evaluated. The results of this work show the use of cogeneration in the vertical condominium and the use of solar energy in the horizontal condominium as the best choices. The sharing of photovoltaic power generation facilities has the great advantage of reducing the investment costs obtained through the application of lower cost frequency inverters per unit of generated power. On the other hand, the potential for obtaining energy from urban solid waste is restricted in terms of scale, even when considered a condominium with 604 residents. However, this technology should be better evaluated at municipal level.

Palavras chave: energy efficiency, solar energy, biodigester, condominium

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição do consumo energético no Brasil.	18
Figura 2. Evolução da micro e minigeração de energia elétrica no Brasil.	22
Figura 3. Irradiação Global sobre o plano inclinado em Curitiba.	32
Figura 4. Oscilação média mensal dos valores de velocidade média dos ventos (m/s) em Curitiba – 2004-2015.	35
Figura 5. Custo por potência térmica liberada de aquecedores a gás.	46
Figura 6. Custo por potência térmica fornecida de uma bomba de calor.	47
Figura 7. Custo por potência de bombeio para bombas de água.	47
Figura 8. Custo por volume de reservatórios de água quente.	48
Figura 9. Custo de inversores de frequência por potência ativa.	49
Figura 10. Fluxo de caixa líquido a valor presente para cogeração com bomba de calor (condomínio vertical)	61
Figura 11. Vista aérea condomínio horizontal analisado.	62
Figura 12. Custo instalação sistemas fotovoltaicos em função do número de residências.	69
Figura 13. Fluxo de caixa líquido a valor presente para aquecimento solar.	70
Figura 14. Fluxo de caixa líquido a valor presente para geração fotovoltaica.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplos de soluções para eficiência e suprimento de demanda energética em casas.	19
Tabela 2. Parâmetros da cogeração qualificada.	26
Tabela 3. Comparativo tecnologias para utilização de resíduos sólidos urbanos.	30
Tabela 4. Custos energéticos para análise.	41
Tabela 5. Consumo água quente por usuário base NBR 15569/2008.	42
Tabela 6. Parâmetros utilizados nos cenários de cogeração.	44
Tabela 7. Parâmetros utilizados nos cenários com utilização de aquecimento solar	44
Tabela 8. Parâmetros utilizados nos cenários com utilização de aquecimento solar	45
Tabela 9. Consumo energia térmica condomínio vertical.	50
Tabela 10. Consumo energia térmica condomínio vertical.	51
Tabela 11. Potências médias de acordo com cenário avaliado (condomínio vertical).....	53
Tabela 12. Balanço energia para as opções consideradas (kW médio).	54
Tabela 13. Balanço energia para as opções consideradas (kWh/mês).	54
Tabela 14. Custos insumos energéticos (R\$/kWh).	55
Tabela 15. Custos mensais com insumos energéticos (R\$/mês).	55
Tabela 16. Parâmetros dos principais equipamentos utilizados na estimativa de custo.....	56
Tabela 17. Características dimensionais de equipamentos (condomínio vertical).	56
Tabela 18. Custos paramétricos para de investimento (condomínio vertical).	57
Tabela 19. Custo investimento alternativas analisadas (condomínio vertical).	57
Tabela 20. Custo de operação e manutenção (R\$/mês) para condomínio vertical.	58
Tabela 21. Economia em relação ao caso base (mil R\$/ano) condomínio vertical.	59
Tabela 22. Economia anual/custo de investimento anualizado (condomínio vertical).....	59
Tabela 23. Área em m ² de painéis e coletores (condomínio vertical).	60

Tabela 24. Indicadores econômicos para cogeração com bomba de calor (condomínio vertical)	61
Tabela 25. Consumo energia térmica no condomínio horizontal.....	62
Tabela 26. Consumo energia no condomínio horizontal.	63
Tabela 27. Potências médias de acordo com cenário avaliado.....	64
Tabela 28. Balanço energia para as opções consideradas (kW médio).....	65
Tabela 29. Balanço energia para as opções consideradas (kWh/mês).....	65
Tabela 30. Custos insumos energéticos condomínio horizontal (R\$/kWh).	66
Tabela 31. Custos mensais insumos energéticos condomínio horizontal (R\$/mês).	66
Tabela 32. Características dimensionais de equipamentos (condomínio horizontal).	67
Tabela 33. Custos paramétricos para de investimento (condomínio horizontal). ..	67
Tabela 34. Custo investimento alternativas analisadas (condomínio horizontal). .	67
Tabela 35. Custo de operação e manutenção (R\$/mês) para condomínio horizontal.....	68
Tabela 36. Economia em relação ao caso base (mil R\$/ano) condomínio horizontal.....	68
Tabela 37. Economia anual/custo de investimento anualizado (condomínio horizontal).....	68
Tabela 38. Indicadores econômicos para geração fotovoltaica.....	70
Tabela 39. Indicadores econômicos para aquecimento solar.....	70
Tabela 40. Potencial energético do biogás produzido no condomínio.	71
Tabela 41. Estimativa de custos do biodigestor.	73

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolos	Grandeza / Significado
A	Área
ABRELPE	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS
ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA
AS	Cenário com uso de aquecimento termossolar
BC	Cenário com uso de Bomba de calor
C EE aptos	Consumo energia elétrica dos apartamentos (soma)
C EE comum	Consumo energia elétrica área comum condomínio
CG	Cenário de Cogeração com motor a ciclo Otto
COP _{HP}	Coeficiente de performance bomba de calor (Q_{HP}/W_{HP})
E _{dia}	Energia Diária Ideal gerada pelo Painel
EE	Energia elétrica
E _{perdas}	Energia perdida
EUF`	Fator de utilização do combustível sistema de cogeração mais auxiliares
E _{útil}	Energia útil
F`	Calor liberado por combustível na cogeração mais sistemas auxiliares
F _B	Taxa calor liberado pelo combustível ("boiler")
FC	Fator de capacidade
F _{CG}	Taxa de calor liberado combustível cogeração
F _{Cinstal}	Fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar
F _{R(α)N}	Coeficiente ganho coletor solar
F _{RUL}	Coeficiente perdas coletor solar
FV	Cenário com uso de painéis fotovoltaicos
FVAC	Cenário com uso de painéis fotovoltaicos para suprimento de energia da área comum do condomínio
FVT	Cenário com uso de painéis fotovoltaicos tanto para suprimento de energia para residências quanto para área comum do condomínio

G	Irradiância do local em W/m^2
G_{CTS}	Radiação Global Incidente Condição CTS
G_{CTS}	Temperatura de referência condição CTS ($25^{\circ}C$)
G_{noct}	Irradiação na condição NOCT ($800 W/m^2$)
Hg	Número de horas de sol equivalente
i	Taxa de juros
I_T	irradiação global (plano horizontal?)
I_T	Irradiação Global Incidente Local (média anual) *
K_{FT}	Fator de correção da temperatura ($0,4\% \cdot dT$)
L	Latitude
N	Número de períodos (anos ou meses)
PCI	Poder Calorífico Inferior
PMDEE	Produção média diária específica do coletor
Q_B	Taxa de calor absorvido aquecedor ("boiler")
Q_D	Taxa de calor demandado
Q_{HP}	Taxa de calor entregue por bomba de calor
Q_{NUCG}	Taxa de calor perdido cogeração
Q_s	Taxa de calor absorvido coletor solar
Q_u	Taxa de calor útil cogeração
Q_{uCG}	Taxa de calor útil obtido por cogeração
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
T_a	Temperatura ambiente
T_{Anoet}	Temperatura ambiente de operação ($^{\circ}C$)
$T_{arm.}$	T armazenamento
T_{Cnoct}	Temperatura nominal de operação da célula
T_m	Temperatura do módulo FV
T_m	Temperatura do modulo fotovoltaico
V_A/V_D	Relação volume armazenamento volume consumido diariamente
V_v	Velocidade do vento em m/s
W_D	Potência elétrica demanda sistema de geração
W_{HP}	Potência acionamento bomba de calor
W_{PV}	Potência elétrica entregue por sistema fotovoltaico
W_u	Potência elétrica útil

W_{uCG}	Potência elétrica útil fornecida por motor cogeração
α	Desvio em relação ao norte geográfico
β	ângulo com plano horizontal
β_i	fator conversão valor presente em fluxo de caixa uniforme
$\beta_{\text{ótimo}}$	ângulo com plano horizontal ótimo
η_c	rendimento do módulo fotovoltaico
η_{INV}	Rendimento do inversor de frequência
η_{painel}	Eficiência painéis fotovoltaicos
λ_{CG}	Relação calor útil trabalho (cogeração)
λ_D	Relação calor demandado trabalho motor (cogeração)
$\tau\alpha$	Resultado da multiplicação da transmitância e absorptância do módulo
Φ	Longitude

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.	PANORAMA DE DEMANDA E SUPRIMENTO ENERGÉTICO.....	17
2.2.	PANORAMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	18
2.3.	SOLUÇÕES ENERGÉTICAS PARA RESIDÊNCIAS	19
3	VIABILIDADE TÉCNICA DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO ENERGÉTICA	21
3.1.	CONEXÃO COM A REDE ELÉTRICA DAS CONCESSIONÁRIAS.....	21
3.2.	COGERAÇÃO.....	24
3.3.	INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	27
3.4.	OBTENÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	28
3.5.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	30
3.6.	ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA.....	36
3.6.1.	Reservatório térmico.....	37
3.6.2.	Dimensionamento do sistema de aquecimento solar	37
3.6.3.	Irradiação Global media anual.....	38
3.6.4.	Ângulo ótimo de instalação.....	38
3.6.5.	Demanda de água quente	38
3.6.6.	Volume de armazenamento.....	38
3.6.7.	Calculo da energia útil armazenada	39
3.6.8.	Perdas térmicas.....	39
3.6.9.	Fator de correção devido a inclinação e a orientação	39
3.6.10.	Produção média diária de energia do coletor	40
3.6.11.	Área coletora	40
4	ESTUDOS DE CASO	41
4.1.	PARÂMETROS PARA CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS	43
4.2.	AVALIAÇÃO DOS CUSTOS PARA APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS.....	45
4.2.1.	Cogeração com motor a ciclo Otto (CG).....	45
4.2.2.	Aquecimento Solar	48
4.2.3.	Sistemas fotovoltaicos	48
4.3.	ESTUDO DE CASO 1 - CONDOMÍNIO VERTICAL.....	49
4.4.	ESTUDO DE CASO 2 - CONDOMÍNIO HORIZONTAL	61

4.5. COMPARATIVO ENTRE A INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DE FORMA INDIVIDUAL E COLETIVA	69
4.6. AVALIAÇÃO POTENCIAL DE USO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO, NO CONDOMÍNIO	71
5 CONCLUSÃO.....	74
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 INTRODUÇÃO

O setor de construção e de serviços atualmente consome acima de 30% do consumo total de energia e gera quase 30% das emissões de CO₂ no mundo. O setor residencial responde por 65,99% do consumo total de energia e 64,16% das emissões de CO₂. (AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2015, apud LOPEZ-GONZALEZ et al, 2016)

Por se tratar de setor com grande consumo de energia e de geração de emissões de CO₂, apresenta grande potencial para a redução destes itens através de propostas que aumentem a eficiência e melhorem a forma de suprimento da demanda energética deste segmento, o que acarretaria em redução da dependência energética e aumento da segurança energética, bem como geraria diversos benefícios secundários, como: redução da pobreza energética, aumento da qualidade do ar, aumento do conforto térmico, melhoria das avaliações das propriedades, promoção da flexibilidade na geração de energia e redução dos gastos com energia. (BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE, 2014, apud LOPEZ-GONZALEZ et al, 2016)

A aplicação de mudanças efetivas com foco em aumento da eficiência energética em construções pode contribuir para a redução das alterações climáticas que tem ocorrido em nosso planeta. A adoção de medidas para o aumento da eficiência energética depende de políticas e de cooperação em todos os níveis, com a possibilidade de melhorias devido a respostas integradas de todos os órgãos deste setor. (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2015, apud LOPEZ-GONZALEZ et al, 2016)

De acordo com o Balanço Energético Anual (EPE, 2019), no ano de 2018, o consumo de energia residencial no Brasil foi de 25,3 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, correspondendo a 9,9% do consumo nacional de energia. Deste montante, 46,5% decorre do uso da energia elétrica, correspondendo a 136,2 TWh.

O consumo energético individual é influenciado por diversos fatores (CHEN et al, 2019), a saber:

- Estilo de vida: hábito de comer fora de casa, beber, fumar;

- Características familiares: tamanho e composição familiar, tipo da casa, proprietário de veículo, possui gastos com financiamento imobiliário;
- Econômico-sociais: renda, educação, situação de emprego;
- Nível de saúde: saudável fisicamente, saudável mentalmente;
- Características individuais: idade, gênero, estado civil, residência rural ou urbana.

Considerando o potencial de contribuição que medidas de eficiência e suprimento energético em residências podem contribuir com importantes questões ambientais globais, como a emissão de gases de efeito estufa e segurança energética, é que se desenvolve o contexto deste trabalho. Existem muitas possibilidades para a elaboração de soluções energéticas em residências que permitam atender a demanda energética de modo a atender critérios de conforto para as pessoas que ali residem, sendo algumas delas: painéis fotovoltaicos, aquecimento termosolar, utilização de sistemas de geração e cogeração a base de queima de combustíveis e resíduos, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado.

Considerando que o desenvolvimento da sociedade requer o aumento no consumo energético, o fato de que grande parte da matriz energética provém de fontes não renováveis e a crescente geração de resíduos sólidos urbanos, torna-se essencial a busca de alternativas que reduzam os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente.

Neste contexto, este trabalho visa contribuir com a análise do emprego de opções tecnológicas disponíveis para emprego em condomínios residenciais.

De modo a gerar a possibilidade de utilização de soluções energéticas mais robustas devido a questões de escala, além de se considerar que exista maior disponibilidade de recursos financeiros para a implementação das soluções, definiu-se que neste estudo serão avaliados condomínios residenciais para a aplicação de algumas soluções energéticas, ainda de modo conceitual, com a finalidade de iniciar as discussões sobre o tema.

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo avaliar o emprego de tecnologias como o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos, utilização de coletores solar para aquecimento de água, geração de energia elétrica fotovoltaica, e cogeração para suprimento de parte da demanda energética em residências

No âmbito deste estudo, buscou-se a análise em um condomínio residencial vertical e um condomínio residencial horizontal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PANORAMA DE DEMANDA E SUPRIMENTO ENERGÉTICO

O desenvolvimento tecnológico e promoção da qualidade de vida das populações, associado ao desenvolvimento econômico, requer o uso adequado e confiável de energia. Por outro lado, segundo Scharmer (2013), o sistema social atual apresenta várias contradições estruturais. Uma delas é a desconexão entre o crescimento infinito, demandado pela lógica econômica atual, e os recursos finitos do planeta Terra. Isto tem produzido uma bolha massiva. De outro lado, dados da Agência Internacional de Energia de 2017 informam que 1,1 bilhão de pessoas não estão conectadas a redes de energia elétrica (LEARY et al, 2019)

De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2019), entre 1971 e 2017, o suprimento mundial de energia primária aumentou em 2,5 vezes, chegando ao patamar de 13.972 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. Neste mesmo ano foi registrado que 82% deste suprimento tem como uso combustíveis não renováveis. Já no Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE,2019), a oferta de energia primária não renovável é de 54,7% da matriz.

O uso de energias não renováveis como petróleo, gás natural e carvão, além de estarem associados a escassez, também, são apontados como fontes de emissão de dióxido de carbono. Hinrichs e Kleinbach (2003) relatam que a maioria dos cientistas concordam que as crescentes concentrações de dióxido de carbono irão afetar a atmosfera do planeta, por meio do aquecimento global, pois há correlação entre a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e a mudança de temperatura da atmosfera.

O setor de construção e de serviços atualmente consome acima de 30% do consumo total de energia e gera quase 30% das emissões de CO₂ no mundo. O setor residencial responde por 65,99% do consumo total de energia e 64,16% das emissões de CO₂. (AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2015, apud LOPEZ-GONZALEZ et al, 2016)

O Balanço Energético Anual (EPE, 2019), no ano de 2018, informa que o consumo de energia residencial no Brasil foi de 25,3 milhões de toneladas

equivalentes de petróleo, correspondendo a 9,9% do consumo nacional de energia, vide Figura 1. Deste montante, 46,5% decorre do uso da energia elétrica, correspondendo a 136,2 TWh.

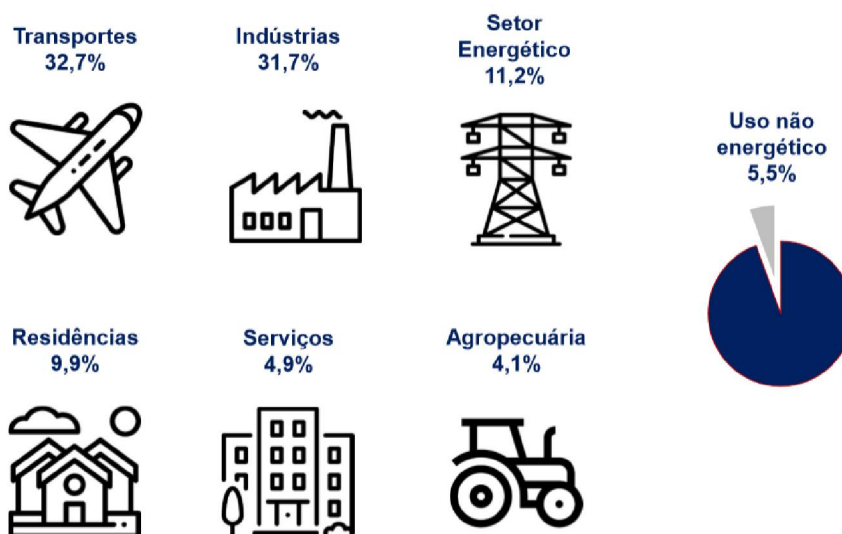


Figura 1. Distribuição do consumo energético no Brasil.

Fonte: EPE, 2019

2.2. PANORAMA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2017) no Brasil são geradas 214.868 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos (RSU), equivalente a 1,035 kg por habitante por dia.

A destinação adequada de RSU tem se mostrado um problema para as grandes cidades, em função do impacto potencial ao meio ambiente. Neste contexto, foi criada a lei nº12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sendo regulamentada em 23 de dezembro de 2010 através do Decreto nº 7.404. Dentre os principais itens introduzidos pelo novo marco regulatório do setor, cabe ressaltar o conceito de Responsabilidade Compartilhada, Logística Reversa e a Proibição dos Lixões em 2014.

Alternativamente a destinação em lixões há basicamente quatro rotas, a saber:

Reciclagem: aproveitamento dos restos de papéis, vidros, plásticos e metais que não estejam contaminados para servir de insumo na fabricação de novos materiais;

Compostagem: aproveitamento dos restos alimentares e outros componentes orgânicos (papéis, madeiras, poda de árvores e jardins) para produção de adubo natural;

Recuperação energética: aproveitamento energético dos resíduos;

Aterro sanitário: disposição final dos resíduos imprestáveis em local apropriado, com garantias sanitárias.

Conforme Serôa da Motta e Chermont (1996, apud Oliveira, 2004), essas rotas devem ser priorizadas na ordem acima enunciada, convindo, naturalmente, que haja precedência para procedimentos que resultem na redução da geração de lixo na fonte e na reutilização do material produzido.

2.3. SOLUÇÕES ENERGÉTICAS PARA RESIDÊNCIAS

As soluções energéticas com foco em eficiência energética e também para atendimento a demanda de energia das residências são as mais variadas possíveis. Algumas das possíveis soluções estão listadas na Tabela 1, sendo estas soluções propostas por diversos autores (LEARY et al, 2019; ALBATAYNEH et al, 2018; BECERRA et al, 2017; EVANS et al, 2014)

Tabela 1. Exemplos de soluções para eficiência e suprimento de demanda energética em casas.

Tópico de construção	Exemplos
Projeto e estrutura	Projeto de construções que utilização a orientação da construção para maximizar a eficiência energética e o uso de energia solar passiva
	Ventilação natural e sombreamento para reduzir as demandas de condicionamento de ar.
	Melhoria das isolações de ar no projeto de construções
	Janelas e portas mais eficientes e com melhor instalação
	Utilização de aquecimento por radiação
Materiais	Uso de materiais isolantes

	Uso de tijolos mais eficientes
	Uso de biogás de biodigestores locais
	Aquecimento termosolar da água
	Uso de energia solar fotovoltaica
Combustíveis e energia renovável	Queima de resíduos sólidos e gás para energia térmica e elétrica
	Resfriamento evaporativo
	Sistema de geração eólica
	Sistemas de cogeração
Aplicações de uso final	Uso de fornos e fogões
	Lâmpadas de menor consumo energético

Fonte: adaptado de EVANS et al, 2014

3 VIABILIDADE TÉCNICA DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO ENERGÉTICA

3.1. CONEXÃO COM A REDE ELÉTRICA DAS CONCESSIONÁRIAS

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Resolução Normativa ANEEL número 482, estabeleceu critérios que permitem a geração e conexão à rede de energia elétrica para micro e minigeradores. Em 2015, este documento foi revisado pela Resolução Normativa ANEEL número 687, estabelecendo os limites de microgeração (75 kW) e minigeração (5 MW). Com isto, as residências passaram a poder descontar de sua fatura de energia elétrica a energia elétrica gerada por instalações implementadas pelos seus proprietários, por meio do regime de compensação. Um aspecto importante do regime de compensação, contemplado nas resoluções supracitadas é o pré-requisito de uso de fontes renováveis ou por cogeração qualificada para geração da energia elétrica de modo a compensar o seu consumo faturado pelas distribuidoras de energia. A promulgação destas resoluções permitiu que unidades residenciais se conectassem a rede de energia elétrica das concessionárias, viabilizando a geração de energia elétrica residencial como forma de contribuição individual para o sistema energético nacional, através do sistema de compensação de energia elétrica, alinhado com o conceito de geração distribuída.

Nos últimos anos, foi observado um aumento significativo desta modalidade de geração de energia elétrica, observado na Figura 2. Apesar disto, ainda existe um grande potencial a ser explorado, pois no ano de 2018 a micro e minigeração totalizaram 0,83TWh (EPE, 2019), valor correspondente a apenas 0,63% de todo o consumo elétrico residencial deste ano.

Pelo sistema de compensação de energia elétrica, a energia ativa injetada pela unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente descontada do consumo de energia elétrica mensal. Com isto, a unidade consumidora passa a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo máximo de 60 (sessenta) meses.

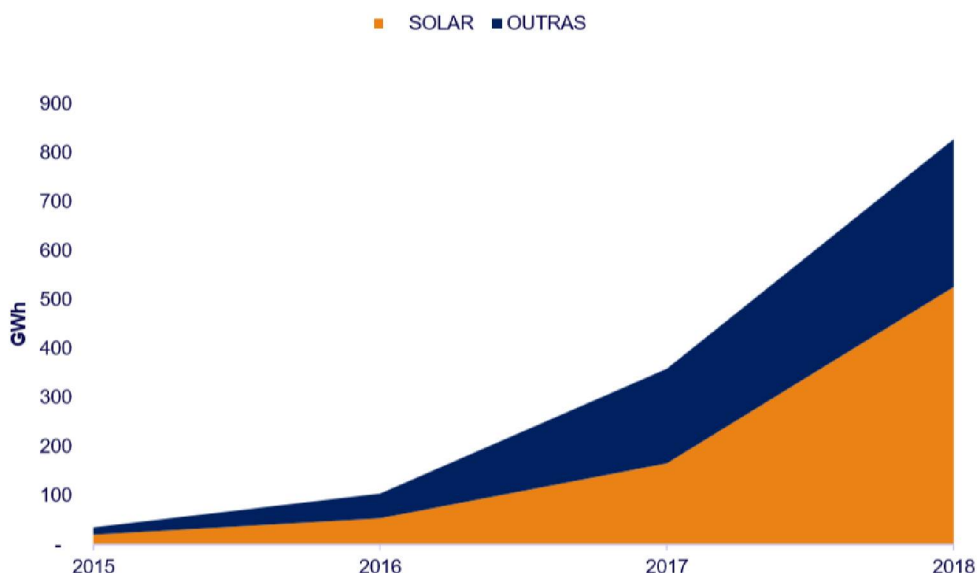


Figura 2. Evolução da micro e minigeração de energia elétrica no Brasil.

Fonte: EPE,2019

Do ponto de vista de compensação de consumo de energia elétrica, deve ser considerado o custo de disponibilidade do sistema elétrico. Este item faz parte da composição tarifária definida para consumidores do grupo B (incluindo residencial), e é definida pela Resolução Normativa ANEEL número 414, de setembro de 2010. Em termos práticos, isto implica que a energia elétrica passível de compensação é a diferença entre o consumo total e o consumo mínimo referente ao custo de disponibilidade. Este fato deve ser considerado para que não haja superdimensionamento no sistema de geração. A seguir são listados os valores de consumo mínimo que compõe a fatura de energia, independentemente do seu uso, o qual é dependente do tipo de instalação elétrica:

- I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores;
- II – 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou
- III – 100 kWh, se trifásico.

Importante observar que o texto dado pela Resolução Normativa ANEEL número 687/15 incorporou as seguintes modalidades ao regime de compensação:

1) Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para

atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, como no caso de condomínios

2) Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras.

3) Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão.

Para os casos dos condomínios, a solicitação de acesso junto à concessionária deve ser acompanhada da cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes. Também, o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos o percentual de energia excedente alocado a essa unidade consumidora e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R\$/MWh. Para este caso a energia excedente é toda aquela injetada na rede. Quando considerada a geração em sistema “individual”, o excedente é a diferença entre a energia injetada menos consumo energético.

A distribuidora não pode incluir os consumidores no sistema de compensação de energia elétrica nos casos em que for detectado, no documento que comprova a posse ou propriedade do imóvel onde se encontra instalada a microgeração ou minigeração distribuída, que o consumidor tenha alugado ou arrendado terrenos, lotes e propriedades em condições nas quais o valor do aluguel ou do arrendamento se dê em reais por unidade de energia elétrica.

Outro aspecto de grande relevância, estabelecido pela Resolução Normativa ANEEL número 687/2015 em seu artigo 15, é o indicativo de revisão da regra atual do regime de compensação: “Art. 15. A ANEEL irá revisar esta Resolução até 31 de dezembro de 2019. (Redação dada pela REN ANEEL 687, de

24.11.2015.)”. Desta forma pode haver mudanças substanciais do marco regulatório, que devem ser observadas futuramente.

3.2. COGERAÇÃO

A cogeração consiste no processo de produção simultânea ou sequencial de duas ou mais formas de energia, térmica e mecânica a partir de um único combustível. Em usinas termoelétricas convencionais de ciclo aberto, o fator de utilização de combustível médio é de 40%, enquanto que com cogeração esse mesmo fator pode chegar a 85% (Moreira, 2017).

Com a cogeração, a produção de energia elétrica é realizada próximo do consumidor final, o que permite o aproveitamento do calor liberado na produção de potência mecânica de modo a atender os requisitos dos usuários. Sistemas de cogeração consistem em um número de equipamentos individuais integrados: motor primário, gerador, sistema de recuperação de calor e interligações elétricas. Os principais tipos de motores primários são: Motores de combustão interna, turbinas a combustão, turbinas a vapor, microturbinas e células a combustível (EPA, 2017).

Os motores à combustão interna para cogeração se assemelham a motores de automóveis, caminhões e geradores de emergência. A maturidade tecnológica dos motores, com grande faixa de aplicações, faz com que esta seja uma opção confiável e barata (EPA, 2017).

Segundo HORLOCK (1997), a queima de gás em motores à combustão interna tem um aproveitamento para geração de energia elétrica entre 20 e 32% e o aproveitamento térmico chega a 50%, para os equipamentos com potência elétrica gerada na faixa entre 10kW a 500kW.

Pela a Resolução Normativa ANEEL número 687/2015, podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica consumidores com microgeração (Potência instalada menor que 75kW) ou minigeração distribuída (Potência instalada da entre 75kW até 5MW), e que utilizem cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A cogeração qualificada é definida pela Resolução Normativa ANEEL número 235/2006, através do atendimento aos seguintes requisitos mínimos descritos a seguir:

Preencher os requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações a seguir:

$$\frac{E_t}{E_f} \geq 15\% \quad (1)$$

$$\left(\frac{E_t}{E_f}\right) \div X + \frac{E_e}{E_f} \geq F_c \% \quad (2)$$

Onde:

Ef- Energia da fonte energia: recebida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, com base no conteúdo energético específico, que no caso dos combustíveis é o Poder Calorífico Inferior (PCI);

Ee: Energia da utilidade eletromecânica energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;

Et: Energia da utilidade calor energia cedida pela central termelétrica cogeneradora, no seu regime operativo médio, em kWh/h, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas entregues ao processo as energias de baixo potencial térmico que retornam à central;

Fc % - Fator de cogeração: parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, o qual aproxima-se do conceito de Eficiência Exergética;

X - Fator de ponderação parâmetro: adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeneradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

Os dados de Fc% e X são disponibilizados conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros da cogeração qualificada.

Fonte/potência elétrica instalada	X	Fc%
Derivados de Petróleo, Gás Natural e Carvão:		
Até 5 MW	2,14	41
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,13	44
Acima de 20 MW	2,00	50
Demais combustíveis:		
Até 5 MW	2,50	32
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,14	37
Acima de 20 MW	1,88	42
Calor recuperado de processo:		
Até 5 MW	2,60	25
Acima de 5 MW e até 20 MW	2,17	30
Acima de 20 MW	1,86	35

Fonte: Resolução Normativa ANEEL número 235/2006

A solicitação para qualificação deverá ser requerida à ANEEL com os seguintes documentos:

I - memorial descritivo simplificado da central e do processo associado;

II - planta geral do complexo destacando onde está inserida a central;

III - diagrama elétrico unifilar geral da central;

IV - caracterização do calendário do ciclo operativo da central, com indicação do seu regime operativo e o conseqüente fator de utilização média das instalações;

V- balanço da energia elétrica em kWh/h, indicando, tanto para “carga plena” quanto “carga média”, as informações referentes a: a) geração bruta; b) consumo em serviços auxiliares da central; c) consumo no processo industrial associado; e d) intercâmbio externo, se houver importação ou exportação;

VI - fluxograma do balanço térmico na “carga plena” e na “carga média”, indicando para cada situação a vazão mássica e as variáveis de estado de todos os fluidos envolvidos, na entrada e saída dos principais equipamentos e instalações da central;

VII - demonstração da eficiência energética individual dos principais equipamentos integrantes do ciclo térmico de cogeração; e

VIII - demonstração do atendimento aos requisitos de racionalidade a que se refere o inciso II do art. 4o desta resolução.

3.3. INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A incineração de resíduos sólidos urbanos para a produção de energia elétrica traz como principal vantagem a redução de áreas necessárias para deposição de resíduos sólidos, pois reduz o volume de dejetos a cerca de 90% do volume original. Comparando com os tradicionais lixões e aterros, esta tecnologia tem menor impacto sobre o uso do solo, reduz o odor nas vizinhanças da atividade, reduz a emissão de biometano (potencial elevado para aquecimento global) e minimiza o risco de contaminação em lençóis freáticos e bacias hidrográficas por chorume contaminado.

Por outro lado, a combustão do lixo tem potencial de gerar emissões de poluentes perigosos como dioxinas, furanos, material particulado e metais pesados. Também a tecnologia é criticada pelo potencial de desincentivar a reciclagem. Entretanto, a incineração de resíduos é aplicada largamente em países com elevadas exigências ambientais relacionadas as emissões atmosféricas e com elevados níveis de reciclagem. Desta forma, esta tecnologia poderia ser considerada como opção, principalmente perto dos grandes centros, que não dispõe de área próximas para a deposição de resíduos em aterros sanitários.

A incineração de resíduos sólidos urbanos pode ofertar entre 350 e 600 kWh/t de resíduos sólidos urbanos. As plantas para incineração de resíduos exigem elevados custos de investimento e de operação. Cabe destacar que, ainda não existem usinas de incineração dos resíduos sólidos urbanos com recuperação de energia em escala comercial em funcionamento no Brasil (EPE, 2014B). No Brasil a obtenção de energia a partir da incineração a partir do lixo ainda é incipiente, como iniciativas pode-se citar a planta da Usina Verde (protótipo) no Rio de Janeiro e a que está sendo instalada no Município de Boa Esperança (MG), com investimento de R\$ 32 milhões e produção de 1 MW. (g1.globo.com)

No mundo existem atualmente mais de 2430 plantas instaladas, com capacidade de 360 milhões de toneladas por ano, com projeção de 2700 plantas com capacidade de processar 530 milhões de toneladas por ano em 2027 (ECOPROC.COM, 2019).

A questão relativa a escala necessária para a viabilidade econômica do uso energético da incineração de resíduos sólidos urbanos é abordada em nota técnica da Empresa de Pesquisa Energética (2014 A). A conclusão apontada por esta análise implica na viabilidade apenas para municípios com população superior a 150.000 habitantes. Desta forma, esta tecnologia não será abordada para a aplicação em condomínios.

3.4. OBTENÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Mais de 90% do lixo gerado nas atividades municipais, industriais e de agricultura, tem sido disposto em aterros irregulares, queimados de modo aberto ou utilizados em compostagem. Os impactos ambientais destes métodos de tratamento são enormes: danificam o ecossistema e as reservas naturais (ar, água e solo), que são componentes críticos para a saúde e subsistência das pessoas. (PATINVOH, 2019)

A produção de biogás no mundo é de 59 bilhões de m³, equivalente a 35 bilhões de m³ de gás metano, sendo que mais da metade desta produção ocorre em território europeu. (PATINVOH, 2019)

Um aspecto relevante, que tende a favorecer o retorno sobre investimentos em obtenção de biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos, é a possibilidade de comercialização do rejeito sólido e líquido do processo de fermentação anaeróbia como biofertilizante, que é muito útil para a agricultura. (WASAJJAA et al, 2020)

A digestão anaeróbia é um processo alternativo que pode ser empregado para o aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos, tendo como produto o biogás e adubo orgânico como subproduto. O uso da tecnologia depende de pré-tratamento para retirada de material que não é biodegradável. São obtidos entre 120 e 290 kWh elétricos por tonelada de resíduos sólidos urbanos (EPE, 2014B).

Um dos grandes desafios tecnológicos para o aproveitamento de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos é a manipulação de sólidos e impurezas inertes ao meio reacional. As tecnologias disponíveis para geração de biogás a partir de resíduos sólidos urbanos disponíveis, segundo Jende et al, 2015, são listadas abaixo.

Digestão Seca Anaeróbia Descontínua Garagem: Neste processo, os resíduos são dispostos em reatores tipo “Garagem” com ciclo de tratamento de 3 a 6 semanas. Os resíduos sólidos permanecem fixo enquanto o líquido lixiviado é circulado e aspergido sobre este para propiciar o desenvolvimento dos microrganismos. Após o desenvolvimento do ciclo o reator é aerado sob condições controladas para evitar o risco de explosão decorrente da presença de metano. Neste sistema há perdas de produtividade de biogás (20 a 30% a menos), comparando com as demais tecnologias. Entretanto uma de suas vantagens é o seu menor custo de instalação.

Digestão Seca Anaeróbia Contínua: Neste processo, a digestão anaeróbia não é interrompida, o que requer o uso de acúmulo de estoque para a sua alimentação. Os reatores utilizados são do tipo “pistão” no qual o material sólido é deslocado continuamente. Para manter a umidade necessária, há recirculação da fase líquida ou injeção de água. Esta tecnologia requer o pré-tratamento da carga, por meio de trituração e peneiramento. O material mais fino é enviado a seção de descompactamento para remoção de metais e impurezas e posteriormente segue ao reator.

Digestão Anaeróbia Úmida Contínua: Neste processo são utilizados reatores de mistura contínua (Continuous Stirred Tank Reactor - CSTR). Para viabilizar o processo de bombeamento, o resíduo sólido deve ser pré-tratado, além de ser adicionado água para que o teor de sólidos totais não ultrapasse 15%. O CSTR é mais indicado para resíduos que são previamente separados, como restos de alimentos de restaurantes ou mercados com coleta seletiva. Pois quando o teor de inertes é elevado há desgaste significativo das instalações.

Na Tabela 3 é apresentado um quadro resumo com as principais vantagens e desvantagens de cada tipo de tecnologia.

Para todas as rotas apresentadas, deve haver processo de tratamento para remoção de H₂S, para evitar problemas de corrosão no sistema de distribuição de gás e redução de emissões atmosféricas.

Tabela 3. Comparativo tecnologias para utilização de resíduos sólidos urbanos.

Processo	Anaeróbico seco descontínuo Garagem	Anaeróbico seco contínuo	Anaeróbico úmido contínuo CSTR
Características da carga	Sólidos Totais ST>35% Substrato misto relativamente seco, pouco selecionados, podem possuir grande quantidade de impurezas.	Sólidos Totais ST>25% Substrato misto, triturado e classificado, eventualmente umidificado.	Sólidos Totais ST<15% Substrato misto, triturado e bem separado, teor de impurezas <5%.
Vantagens	Utilizado com processo termofílico com a higienização do material digerido. Pouca preparação do substrato. Menor complexidade equipamentos. Baixa utilização de energia. Tecnologia modular.	Utilizado com processo termofílico com a higienização do material digerido. Maior eficiência em relação ao descontínuo. Alta estabilidade Menor emissão de metano.	Utilizado com processo termofílico com a higienização do material digerido. Alta taxa produção de gás. Alta estabilidade. Menor emissão de metano. Material digerido utilizável na agricultura.
Desvantagens	Demanda de área relativamente alta Manor aproveitamento energético. Grande quantidade de resíduo gerado.	Desgaste de equipamentos mecânico. Necessidade de alimentação contínua e armazenamento de carga.	Exigência preparação de substrato. Desgaste mecânico. Armazenamento de carga. Volume de efluente líquido relativamente elevado.

Fonte: Adaptado de Jende et al, 2015.

3.5. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O efeito fotovoltaico é um fenômeno físico que faz com que a luz solar (radiação) seja convertida em energia elétrica diretamente através de uma diferença de potencial que ocorre sobre um material semi-condutor quando a luz incide sua superfície. O primeiro registro de observação do efeito fotovoltaico foi no ano de 1839 por Alexandre-Edmond Becquerel, físico francês que morreu em 1891. O semicondutor possui três bandas, uma de valência, uma banda intermediária denominada de “bandgap” e uma de condução. Na banda de valência há presença de elétrons, diferentemente da banda de condução que não possui elétrons livres. Com a incidência de radiação, os elétrons da banda de valência são excitados pelos

fótons, que possuem uma carga elétrica superior a bandgap, criando um fluxo para a banda de condução. (PINHO e GALDINO, 2014).

Os semicondutores utilizados nas células fotovoltaicas em sua grande maioria são de silício, monocristalino ou policristalino (RÜTHER, 2004).

Segundo o relatório da EPE do ano de 2018, a energia solar fotovoltaica, cresceu no Brasil 316,1% no ano de 2018 em relação ao ano anterior, ilustrando um grande potencial de mercado nesta área. Comparando a geração de energia solar com geração de energia eólica, percebe-se que a tecnologia fotovoltaica apresenta melhor potencial para o uso em residências, principalmente em áreas urbanas devido a grandes barreiras físicas que impedem a chegada de ventos com velocidade suficiente para um aproveitamento energético deste movimento.

Em condomínios, existe a possibilidade da utilização de sistemas centralizados de geração fotovoltaica para atender tanto a área comum, quanto as residências. Nos casos de condomínios verticais, a quantidade de geração é, geralmente, limitada pela área disponível para a instalação das placas que fazem a captação da radiação solar. Por outro lado, em condomínios horizontais, geralmente a limitação de área não é um empecilho à implantação do sistema, existindo a possibilidade de utilização de um sistema com painéis em várias residências diferentes.

O sistema é composto de painéis fotovoltaicos, inversor(es), o sistema de fixação das placas, cabos elétricos e sistemas de monitoramento. Os principais componentes são os módulos fotovoltaicos e o inversor. Os módulos são um conjunto de células fotovoltaicas, estas fazem a conversão da radiação solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. Em sua grande maioria, são feitas de silício, monocristalino ou policristalino (RÜTHER, 2004).

O módulo Fotovoltaico é um conjunto das células fotovoltaicas responsáveis pela captação de radiação e geração de eletricidade. Estes geralmente são catalogados em relação a potência e a eficiência de conversão.

O Inversor é o equipamento essencial do sistema, pois é responsável pela conversão da energia, gerada em corrente contínua para corrente alternada. Em sistemas ligados à rede (on-grid), eles são responsáveis pelo ajuste de tensão,

frequência e fase. Caso ocorra uma interrupção no fornecimento de energia pela concessionária o inversor desliga automaticamente, deixando de fornecer a energia gerada nos painéis para a rede elétrica, garantindo segurança em casos de manutenção da rede (VIANA, 2010).

A geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaico é dependente da irradiação solar incidente sobre o plano inclinado (Moreira, 2017). Os dados obtidos no Atlas Solarimétrico do Estado do Paraná de 2017 para a Irradiação solar no plano inclinado, com inclinação igual a latitude ($22,43^\circ$), são informados na Figura 3.

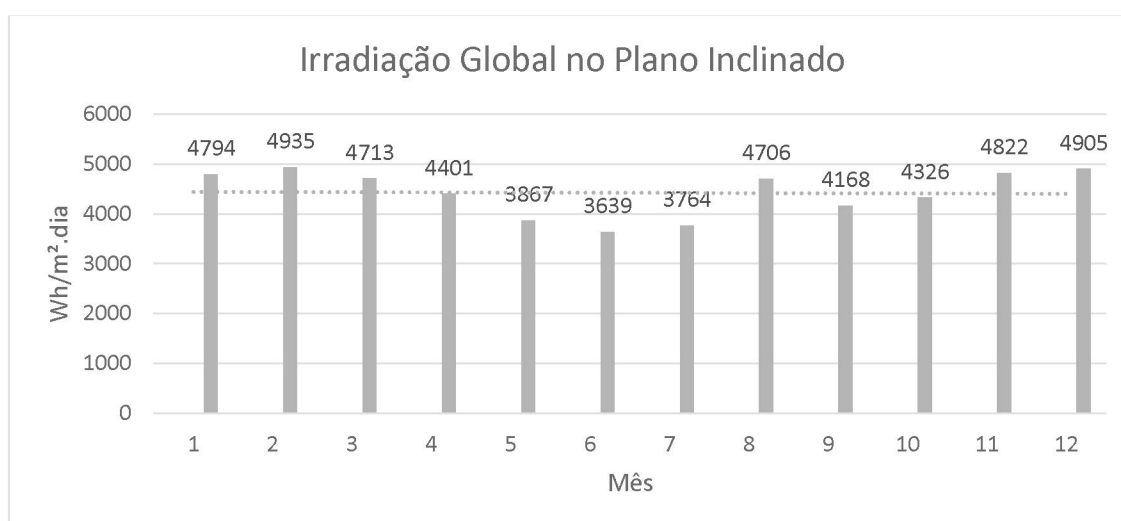


Figura 3. Irradiação Global sobre o plano inclinado em Curitiba.

Fonte: Adaptado de LABREN, 2017

O rendimento do sistema fotovoltaico varia de acordo com as perdas que ocorrem por conversão de energia, sombreamento, perdas no inversor, aumento de temperatura, perdas por mismatch (que é relacionada com a incompatibilidade de atributos do painel ou de descasamento), perdas na fiação e sujeidade dos módulos (ARAUJO et al, 2016).

Os módulos fotovoltaicos são testados em condições específicas, a fim de obter dados de eficiência e produção de energia, uma destas condições é o valor da irradiação solar, que é 1000 W/m^2 , diferente da irradiação média no local. Pode-se comparar com a irradiação global de modo a mensurar o período equivalente de geração em horas do dia, utilizando a equação:

$$Hg = \frac{I_T}{G_{CTS}} (3)$$

Onde

H_g é o número de horas equivalente de geração diária;

I_T é a irradiação diária sobre o plano inclinado;

G_{CTS} é a irradiação na condição de testes (1000W/m²).

Isto significa que 4420 Wh/m² equivalem a 4,42 horas de geração diária a 1000 W/m².

Outro fator que difere na geração é a temperatura em que o módulo fotovoltaico estará no momento da geração. Há uma variação na potência e na tensão gerada em relação a esta variável este é um dado técnico que é fornecido pelo fabricante dos módulos. A influência do fator de temperatura pode ser definida como:

$$K_{FT} = [1 - F_T * (T_{trab} - T_{CTS})] \quad (4)$$

Onde K_{FT} é o coeficiente de correção da temperatura, F_T é o fator da temperatura fornecido pelo fabricante, T_{trab} é a temperatura de trabalho do módulo e T_{CTS} é a temperatura na condição de teste (geralmente 25°C). A temperatura do módulo na condição de teste é 25 °C, e há uma variação na potência, para o modelo em questão, de -0,4 % da potência nominal máxima para cada aumento de 1° C. Este valor varia inversamente no caso de uma diminuição da temperatura, aumentando a potência em vez de diminuí-la.

Para definir a temperatura de trabalho do módulo fotovoltaico, utilizou-se do método proposto por Duffie e Beckman, pois segundo YANG et al, 2018 é o método que possui uma estimativa contendo um menor erro quando comparado com a temperatura ambiente medida em um estudo feito na cidade de Curitiba-PR.

Segundo Duffie e Beckman, para medir a temperatura do módulo utiliza-se a equação:

$$T_m = T_a + (T_{c_{noct}} + T_{a_{noct}}) * \left(\frac{G}{G_{noct}}\right) * \left(\frac{9,5}{5,7+3,8*\sqrt{v}} * \left(1 - \frac{\eta_c}{t_a}\right)\right) \quad (5)$$

Onde:

T_m é a temperatura do módulo

T_a é a temperatura ambiente

G é a irradiância do local em W/m^2

G_{noct} é a irradiação na condição NOCT ($800 W/m^2$)

TC_{noct} é a temperatura nominal de referência de operação do módulo em ambiente de teste do módulo ($^{\circ}C$)

TA_{noct} é a temperatura ambiente de referência utilizada no teste do módulo ($^{\circ}C$)

η_c é e o rendimento do módulo fotovoltaico

V_v é a velocidade do vento em m/s

ta é o resultado da multiplicação da transmitância e absorvância do módulo, pode ser estimado em 0,9 sem que ocorra erros significativos, JAKHANI et al, 2011.

A produção de energia de um módulo fotovoltaico, sem considerar as perdas, pode ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$E_{dia} = K_{FT} * P_{max} * Hg \quad (6)$$

Onde:

Onde E_{dia} é a energia gerada pelo módulo, sem perdas por fatores externos e P_{max} é a potência nominal máxima por módulo. Porém, é necessário quantificar as perdas, para que a quantidade exata de painéis seja instalada a fim de suprir a demanda energética necessária.

As perdas ocorrem por conversão de energia, sombreamento, perdas no inversor, mismatch, aumento de temperatura, perdas na fiação e sujidade dos módulos (ARAUJO et al, 2016). Um dos meios de quantificar estas perdas, antes da instalação, é por meio da Taxa de Desempenho (Performance Ratio), esta taxa é uma relação entre o rendimento real do sistema, o qual contém as perdas, e o rendimento ideal esperado pelo sistema. Sendo assim, a energia gerada por um módulo fotovoltaico pode ser descrita pela equação:

$$E_{real} = K_{FT} * P_{max} * Hg * PF \quad (7)$$

Onde, E_{real} é a Energia gerada diariamente por módulo e PF é a taxa de desempenho do sistema. O valor padronizado, utilizado internacionalmente, da

Taxa de desempenho para projetos de sistemas fotovoltaicos é 0,75. (TONIN, 2017).

A partir dos valores de geração por módulo, é possível obter a quantidade de módulos relacionando este valor com a carga requerida pelo sistema, através da equação:

$$QTD_{Módulos} = \frac{C}{E_{real}} \quad (8)$$

Onde C é a carga diária requerida pelo sistema em kWh/dia.

É possível também calcular a área requerida pelos módulos multiplicando a área unitária do módulo pela quantidade de módulos:

$$A = A_{módulo} * QTD_{Módulo} \quad (9)$$

Esta área não leva em consideração os espaços para a circulação de pessoas para manutenção ou para a circulação de ar.

Os valores referentes à temperatura nominal de operação podem ser encontrados na ficha técnica do módulo fotovoltaico disponibilizado pelo fabricante. Os valores de temperatura ambiente e velocidade dos ventos são fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), em sites meteorológicos ou artigos. Para encontrar valores médios de velocidade dos ventos com mais facilidade, pode-se utilizar os estudos de CASTELHANO e ROSEGHINI, 2018, vide Figura 4.

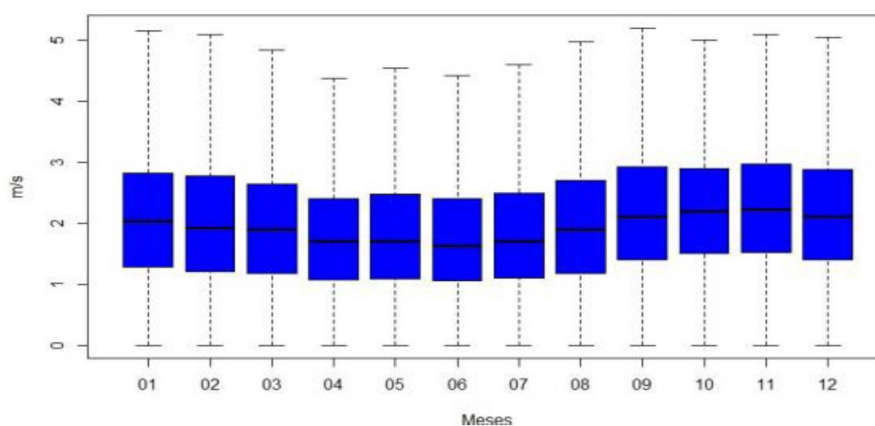


Figura 4. Oscilação média mensal dos valores de velocidade média dos ventos (m/s) em Curitiba – 2004-2015

Fonte: CASTELHANO, F. J.; ROSEGHINI, W. F. F

3.6. ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

Além da geração de energia através do efeito fotovoltaico, o Sol também pode ser utilizado como fonte de energia térmica e é utilizado principalmente para o aquecimento de água para o consumo humano. Este consumo pode ser para banho, para lavar louça, para lavar roupas ou aquecer piscinas. (MOREIRA 2017).

O Brasil, apesar do grande potencial de geração, ainda utiliza pouco desta fonte de energia que pode suprir o consumo do item com maior parcela de consumo elétrico de uma residência, o chuveiro. (CRUZ et al, 2019). Segundo a EPE, da estimativa de 71 milhões de residências em 2020, apenas 2, 593 milhões utilizarão sistema de aquecimento solar de água no Brasil. (equivalente a 4,1%).

O mercado de sistemas de aquecimento solar terá uma expansão significativa até 2050, chegando a atender 23,8% das fontes de aquecimento de água para banhos em residências, podendo evitar um consumo de mais de 25 440 GWh por ano em 2050 (EPE, 2016):

Um sistema de aquecimento solar de água possui alguns componentes principais: O coletor solar, o reservatório térmico, o circuito hidráulico primário, as conexões com a rede de água fria e quente, válvulas de segurança e um sistema de apoio. (MOREIRA, 2017).

Os sistemas de aquecimento de água podem ter o seu fluxo de água feito de duas formas, uma circulação natural (ou termossifão) que depende da diminuição da densidade que ocorre no aquecimento da água para que ela circule pelos coletores e retorne para o reservatório, ou pela circulação forçada que ocorre pelo acionamento de uma bomba hidráulica. Sistemas onde a circulação é feita de forma natural são mais baratos pelo fato de não haver bombas hidráulicas, diminuindo o custo de instalação e o custo com energia elétrica, neste tipo de circulação não há risco de bombear água fria para o reservatório, tendo em vista só ocorrerá fluxo quando a temperatura reduzir a densidade da água. Nos sistemas de circulação forçada, além da bomba hidráulica, é necessário o uso de um sensor de temperatura para que a bomba não bombeie água com temperatura menor que a do reservatório. (MOREIRA, 2017).

O coletor solar, assim como o painel fotovoltaico, tem a função de receber e converter a energia solar, porém o coletor a converte em energia térmica. Isto ocorre devido a transmissão do calor recebido pela irradiação solar no coletor para a água que circula dentro dos tubos do coletor.

Os coletores solares podem ser divididos quanto a sua característica construtiva, no Brasil, segundo MOREIRA, o mercado oferece três tipos de coletores: coletor solar plano fechado, coletor solar plano aberto e coletor solar com tubos a vácuo.

Os coletores solares planos fechados são compostos de uma caixa que abriga os tubos absorvedores, sendo isolada termicamente na parte inferior e nas laterais, a parte de cima é feita de um material transparente para que a ocorra a incidência solar nos tubos absorvedores, este material transparente cria um efeito estufa. São utilizados para aquecimentos de água para lavar louça, tomar banho e outras tarefas diárias de uma residência. Possuem eficiência superior quando comparado com os coletores solares abertos, e podem obter temperaturas de até 90°C. Os coletores solares planos abertos têm eficiência pior que os fechados, pois não possui proteção contra as perdas térmicas por convecção, é normalmente utilizado para o aquecimento de piscinas. Operam a uma temperatura de 50 °C, são feitos de material polimérico e um custo de instalação menor quando comparado a coletor de plano aberto, fazendo com que seja mais atrativo para grandes instalações. Nos coletores com tubos a vácuo, os tubos absorvedores são situados dentro de tubos transparentes com isolamento térmico utilizando vácuo entre as superfícies dos tubos absorvedor e isolante. (MOREIRA, 2017).

3.6.1. Reservatório térmico

A água aquecida pelos coletores tem que ser armazenada em um reservatório que consiga manter a temperatura da água elevada, este reservatório geralmente é feito de aço inoxidável, possuindo camadas de isolante térmico (poliuretano) e acabamento externo. Os modelos convencionais apresentam quatro conexões hidráulicas para a circulação da água, a entrada de água fria e a saída de água quente.

3.6.2. Dimensionamento do sistema de aquecimento solar

O dimensionamento de um sistema de aquecimento solar de água pode ser feito através da ABNT NBR 15569:2008 que sugere um método simples para o projeto e a instalação. O levantamento de dados técnicos é o primeiro passo. As especificações técnicas do projeto são descritas a seguir.

3.6.3. Irradiação Global media anual

Assim como no sistema fotovoltaico, os valores de irradiação global são necessários para iniciar o dimensionamento. Estes valores podem ser adquiridos por estações meteorológicas, e podem ser encontradas nos Atlas solarimétricos através da localização de instalação do sistema.

3.6.4. Ângulo ótimo de instalação

Para sistemas de aquecimento de água é sugerido que o painel seja o ângulo de inclinação ótimo em relação a horizontal seja equivalente à soma da latitude local(L) mais 10°:

$$\beta_{\text{ótimo}} = L + 10^{\circ} \quad (10)$$

E que não tenha variação na orientação do painel, γ (ângulo azimutal):

$$\gamma = 180^{\circ} \quad (11)$$

3.6.5. Demanda de água quente

Para o cálculo da demanda de água quente é necessário especificar o volume de consumo diário, que pode ser expresso através de um somatório de todos os itens que utilizam água quente:

$$V_{\text{consumo}} = \Sigma (Q_{pu} * t_u * F_{uso}) \quad (11)$$

Onde:

V_{consumo} é o volume diário consumido em m³.

Q_{pu} é a vazão do equipamento em m³/s

F_{uso} é a frequência de uso do item.

3.6.6. Volume de armazenamento

Tendo conhecimento da demanda diária, é necessário calcular o volume armazenado para que seja dimensionado os coletores e o reservatório térmico. O volume de armazenamento pode ser obtido através da equação:

$$V_{arm} = \frac{V_{consumo} * (T_{uso} - T_a)}{T_{arm} - T_a} \quad (12)$$

Sendo V_{arm} o volume armazenado, $V_{consumo}$ o volume de consumo diário, T_{uso} a temperatura de uso e T_a é a temperatura ambiente e T_{arm} é a temperatura de armazenamento no reservatório. A temperatura ambiente pode ser obtida no INMET ou em outros institutos meteorológicos. Já a temperatura de consumo é sugerida que seja maior ou igual a 40 °C. É sugerido que o volume de armazenamento seja maior que 75% do volume de consumo. (MOREIRA, 2017).

3.6.7. Cálculo da energia útil armazenada

A partir do volume de armazenamento é possível obter a quantidade de energia que será necessário absorver para que este volume seja aquecido.

$$Et_{util} = V_{arm} * \epsilon * C_p * (T_{arm} - T_a) \quad (13)$$

Onde

ϵ é a massa específica da água em kg/m³,

C_p é o calor específico da água em kWh/(kg/°C)

Et_{util} é a energia térmica útil armazenada em kWh/dia.

3.6.8. Perdas térmicas

Como o dimensionamento é feito por um método simplificado, a NBR em questão sugere que as perdas térmicas sejam consideradas em 15%:

$$E_{perdas} = 0,15 * Et_{util} \quad (14)$$

3.6.9. Fator de correção devido a inclinação e a orientação

A angulação do painel tem bastante impacto sobre a quantidade de radiação que incide na superfície, este fator de correção ($F_{c_{instal}}$) leva em consideração os desvios angulares em relação ao posicionamento ótimo dos painéis e pode ser obtido através da equação:

$$FC_{instal} = \frac{1}{1 - (1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \gamma^2)} \quad (15)$$

Onde β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, neste trabalho considera-se que ambos os ângulos tem a inclinação ótima, portanto este fator não tem efeito no dimensionamento, porém para outros trabalhos este fator deve ser levado em consideração.

3.6.10. Produção média diária de energia do coletor

A produção média diária de energia específica do coletor (PMDEE) é um parâmetro fundamental para o cálculo da área coletora, pois leva em consideração os coeficientes de rendimento e perdas específicos do coletor. A PMDEE expressa em Wh/mês*m², pode ser obtido através da equação:

$$PMDEE = 4,901 * (Fr_{\tau\alpha} - 0,0249 * FR_{UL}) \quad (16)$$

Sendo $Fr_{\tau\alpha}$ e FR_{UL} são respectivamente o coeficiente de ganhos e de perdas do coletor escolhido.

3.6.11. Área coletora

$$A_{coletora} = \frac{(Et_{\text{util}} + E_{\text{perdas}}) * FC_{instal} * 4,901}{PMDEE * Ig} \quad (17)$$

Onde:

$A_{coletora}$: área coletora em m²;

Et_{util} : energia térmica útil em kWh/dia;

E_{perdas} : Somatória de perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, kWh/dia;

FC_{instal} : fator de correção de instalação dos coletores;

PMDEE: a produção média de energia específica por coletor, gerada diariamente em kWh/dia*m².

Ig : é o Valor da Irradiação Global Horizontal (média anual), do local de instalação em kWh/m²*dia.

4 ESTUDOS DE CASO

O presente estudo irá avaliar o potencial de geração de energia elétrica em dois condomínios da cidade de Curitiba. Em um dos casos, tem-se um condomínio vertical (prédio com apartamentos), e em outro um condomínio horizontal (casas).

Para dois os tipos de condomínio são considerados como cenário base o suprimento de energia para as residências de forma convencional, com o suprimento de energia elétrica sendo realizado por meio da concessionária de distribuição de energia elétrica do estado do Paraná, a COPEL. Por outro lado, o suprimento de energia térmica no caso do condomínio horizontal é realizado pela distribuidora de gás liquefeito de petróleo (GLP) COPAGAS e no caso do condomínio vertical é realizado por gás natural pela COMPAGÁS.

Como premissa para a avaliação, foram considerados os preços dos insumos energéticos informados na Tabela 4.

Tabela 4. Custos energéticos para análise.

Descrição	Fonte	R\$/kWh sem imposto	R\$/kWh com imposto
Gás Natural residencial	www.compagas.com.br	0,318	0,437
Gás Natural Cogeração	www.compagas.com.br	0,148	0,203
GLP	Fatura COPAGAS	0,318	0,437
Energia Elétrica área comum	www.copel.com.br	0,518	0,799
Energia Elétrica residências	www.copel.com.br	0,518	0,799

Fonte: autoria própria.

O consumo de energia térmica requerida para aquecimento de água, consumo pelos condôminos em suas atividades diárias, foi estimado por meio de critérios estabelecidos pela NBR 15569/2008, informados na Tabela 5. Estes dados são a base para dimensionamento de equipamentos e levantamento do potencial de redução de custos com a implementação das propostas analisadas.

Tabela 5. Consumo água quente por usuário base NBR 15569/2008.

	Vazão	Frequência	Tempo uso	Vazão por usuário
	L/min	vezes por usuário por dia	Minutos por usuário	L/(usuário.dia)
Ducha	6,6	1,5	10	99
Pia banheiro	3	3	1	9
Pia cozinha	3	1	5	15
Total				123

Fonte: autoria própria.

O consumo de energia elétrica por residência foi levantado a partir dos dados divulgados pela Pesquisa de Posse de Equipamentos e Dados de Uso - Classe Residencial Região Sul – PROCEL (Vasconcelos et. al, 2007).

Com o objetivo de atender o consumo energético demandado, foram considerados alguns cenários para comparação. As alternativas propostas buscam a geração de energia de forma racionalizada e redução de custos para os moradores dos condomínios. A seguir são apresentados os cenários comparativos:

1) Cogeração com motor a ciclo Otto (CG)

Para esta tecnologia, buscou-se atender o consumo de energia elétrica passível de compensação, conforme estipulado pela resolução da ANEEL 687/15, tanto para as residências quanto para área comum. Desta forma, o suprimento de energia térmica para aquecimento de água acaba sendo limitado pelo potencial de aproveitamento proporcionado pelo estado da arte da tecnologia. É possível pelo balanço energético da cogeração que, ao atender os pré-requisitos de geração de energia elétrica, o calor gerado seja insuficiente para suprir a demanda térmica dos condôminos. Para complementar o balanço de energia térmica foram consideradas as seguintes alternativas:

1.1) Aquecedores a gás (CG+AQ)

1.2) Aquecimento solar (CG+AS)

1.3) Bomba de calor (CG+BC)

2) Aquecimento de água por energia solar (AS).

- 3) Geração energia elétrica por painéis fotovoltaicos (FV).
 - 3.1) Atendimento de residências e área comum (FVT).
 - 3.2) Atendimento apenas da área comum (FVAC).

Cabe destacar que nos casos de aquecimento de água por cogeração, considera-se a instalação de aquecedores a gás como redundância para o suprimento de toda demanda térmica, de modo a prover água quente mesmo em períodos com interrupções de fornecimento para manutenção dos equipamentos. Foi considerada uma disponibilidade de 96% do sistema de cogeração.

4.1. PARÂMETROS PARA CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

Para cada um dos casos analisados (tipo de condomínio), foi realizada uma estimativa do potencial de redução de custos com energia, do investimento para aplicação das tecnologias e dos custos de operação e manutenção em cada um dos cenários estudados (alternativas tecnológicas de suprimento de energia).

Tal levantamento foi realizado com base nas definições da revisão bibliográfica, parâmetros das tecnologias em análise e informações de mercado de equipamentos via obtenção de cotações.

Para a análise e dimensionamento prévio dos sistemas, necessários para a avaliação de custos, são apresentados os valores das grandezas consideradas no presente estudo:

- 1) Cogeração com motor a ciclo Otto (CG)

Nos cenários envolvendo a cogeração, foram utilizados alguns parâmetros de análise informados na Tabela 6.

- 2) Aquecimento de água por energia solar (AS).

Para dimensionamento e avaliação de custos do sistema de aquecimento solar de água por placa plana, foram utilizados parâmetros de irradiação, de eficiência do coletor, dados geométricos e outros dados definidos na Tabela 7.

Tabela 6. Parâmetros utilizados nos cenários de cogeração.

Grandeza	Valor	Fonte
λ_{CG}	1,56	(HORLOK, 1997)
QB/FB	0,85	Catálogo fabricantes
COPHP	6,00	Catálogo fabricantes
Wu/FCG	0,32	(HORLOK, 1997)
Qu/FCG	0,50	(HORLOK, 1997)

Fonte: autoria própria.

Tabela 7. Parâmetros utilizados nos cenários com utilização de aquecimento solar

Grandeza	Unidade	Valor	Fonte
L	Graus	25,44	www.google.com.br/maps
Φ	Graus	49,44	www.google.com.br/maps
I_T	kWh/d/m ²	4,39	www.cresesb.cepel.br
α	Graus	20	planta condomínio
β	Graus	35	Definição projeto
FR($\tau\alpha$)N	Adm	0,764	www.inmetro.gov
FRUL	Adm	1,29	www.inmetro.gov
$\beta_{\text{ótimo}}$	Graus	35,44	Moreira, 2017
V_A/V_D	m ³	75%	Moreira, 2017
$T_{\text{arm.}}$	°C	55,00	Definição projeto
E_{perdas}	% da Eútil	15%	Moreira, 2017

Fonte: autoria própria.

3) Sistemas fotovoltaico

A Tabela 8 mostra os parâmetros para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos.

Tabela 8. Parâmetros utilizados nos cenários com utilização de aquecimento solar

Grandeza	Descrição	Valor	Unidade
I_T	Irradiação Global Incidente Local (média anual) *	4420	Wh/m ² dia
G_{CTS}	Radiação Global Incidente Condição CTS	1000	W/m ² dia
E_{dia}	Energia Diária Ideal gerada pelo Painel	1155	Wh/painel*dia
Hg	Número de horas de sol equivalente	4,2	h
K_{FT}	Fator de correção da temperatura (0,4% *dT)	1	adm
G_{CTS}	Temperatura de referência condição CTS (25°C)	25	°C
T_m	Temperatura do módulo FV	22,6	°C
η_{painel}	Eficiência painéis fotovoltaicos	0,168	
FC	Fator de capacidade	0,80	-
η_{INV}	Rendimento teórico do inversor	0,98	-

Fonte: Atlas Solarimétrico do Paraná.

*Dados retirados do Atlas Solarimétrico do Paraná. Para a irradiação média diária da região Metropolitana de Curitiba.

4.2. AVALIAÇÃO DOS CUSTOS PARA APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

Os custos de equipamentos tiveram como base condições de mercado obtidos por meio de cotação. Os preços são referenciados ao mês de setembro de 2019.

4.2.1. Cogeração com motor a ciclo Otto (CG)

O sistema de cogeração, considerado nesta análise, é constituído de um conjunto motogerador com permutadores de calor para aquecimento de água, além de equipamentos suplementares necessários para o atendimento das demandas energéticas dos moradores. A seguir são apresentados os custos utilizados neste trabalho:

Conjunto Motogerador:

Para este sistema foi utilizado como parâmetro um custo de investimento de R\$ 8.783,65 por kW elétrico instalado, considerando a classe de potência requerida para suprimento de energia nos condomínios. Este custo já considera os custos de instalação do sistema. (civil com base / interligações elétricas / interligações de água quente).

Aquecedores a gás:

Através do levantamento de custos de aquecedores a gás, em função da potência térmica liberada nominal, obteve-se a curva paramétrica de custo em função da potência ilustrada na Figura 5.

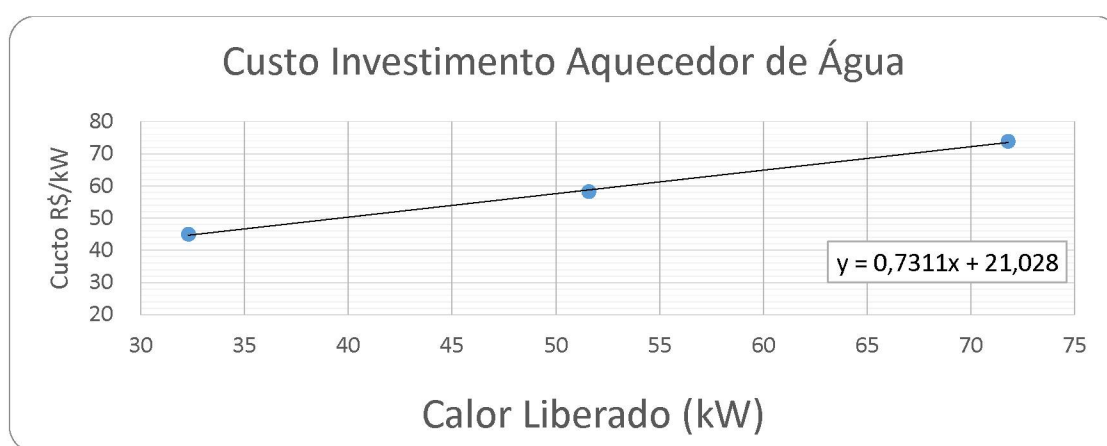


Figura 5. Custo por potência térmica liberada de aquecedores a gás.

Fonte: autoria própria.

Bomba de calor:

Através do levantamento de custos de bombas de calor, em função da potência térmica nominal entregue, obteve-se a curva paramétrica do custo do equipamento em função da potência de aquecimento, ilustrada na Figura 6..

Bomba de água:

Através do levantamento de custos de bombas de água, em função da potência de bombeio, obteve-se a curva paramétrica do custo do equipamento em função da potência de bombeio, ilustrada na Figura 7.

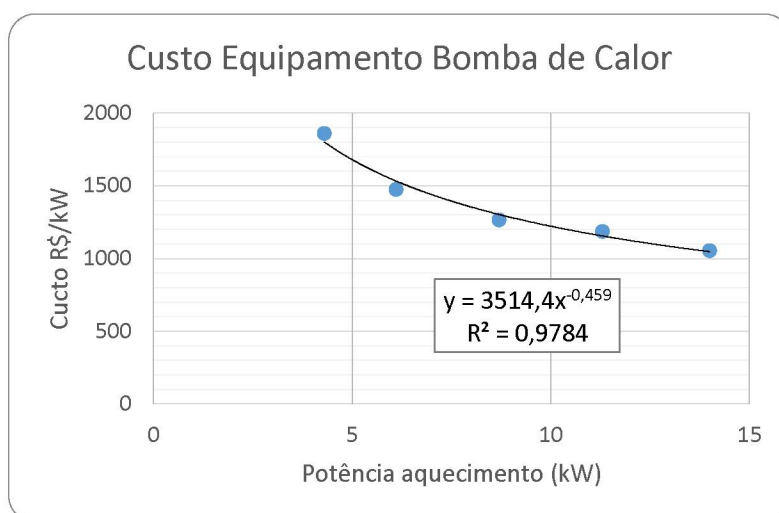


Figura 6. Custo por potência térmica fornecida de uma bomba de calor.

Fonte: autoria própria.

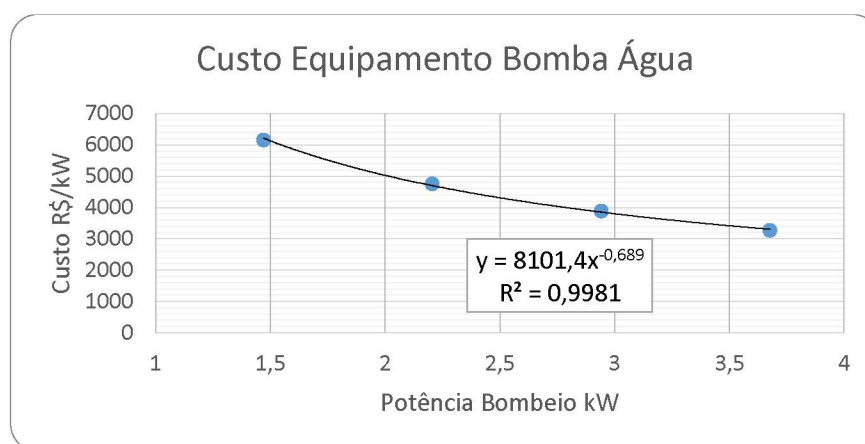


Figura 7. Custo por potência de bombeio para bombas de água.

Fonte: autoria própria.

Reservatório água quente:

Através do levantamento de reservatórios de água quente, em função do volume, obteve-se a curva paramétrica do custo do reservatório de água quente em função de seu volume, ilustrada na Figura 8.

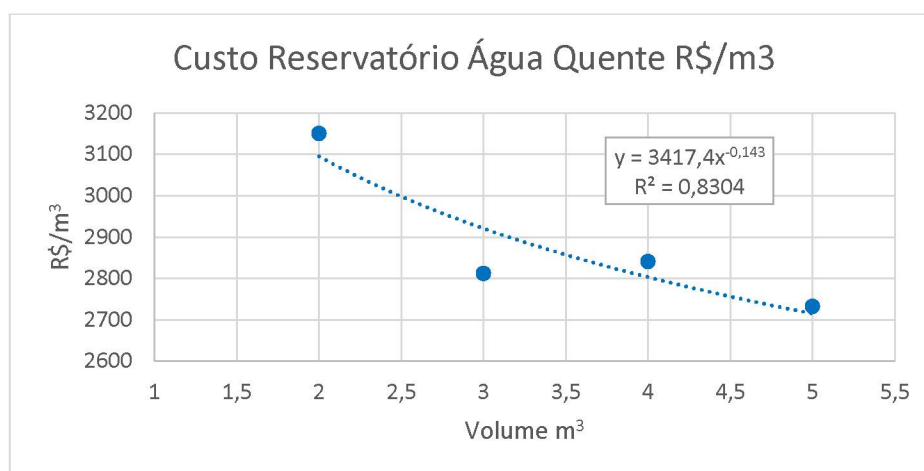


Figura 8. Custo por volume de reservatórios de água quente.

Fonte: autoria própria.

Tubulação água quente:

Para os custos de tubulação de cobre (3/4") isolada para uso de água quente utilizou-se um custo de 110 R\$/m.

4.2.2. Aquecimento Solar

Os principais equipamentos do sistema de aquecimento solar são as placas coletoras, reservatório de água quente e tubulação. Tanto para custo de reservatórios quanto para tubulação foram utilizados os custos supracitados. O levantamento de custo de coletores solares teve como base com eficiência classe A, definida pelo INMETRO. O valor utilizado no presente trabalho é de R\$ 445,00 por m². Adicionalmente, foi considerado um valor de R\$ 90,00 por m², referente a instalação.

4.2.3. Sistemas fotovoltaicos

Painéis Solares

O custo dos painéis fotovoltaicos considerado é de R\$ 2093,3 por kWp (eficiência de 16,8%).

Inversor de frequência

O custo de inversores de frequência tem forte dependência da potência nominal, conforme pode ser observado na Figura 9, a qual ilustra a curva paramétrica do custo dos inversores de frequência em função de sua potência ativa.

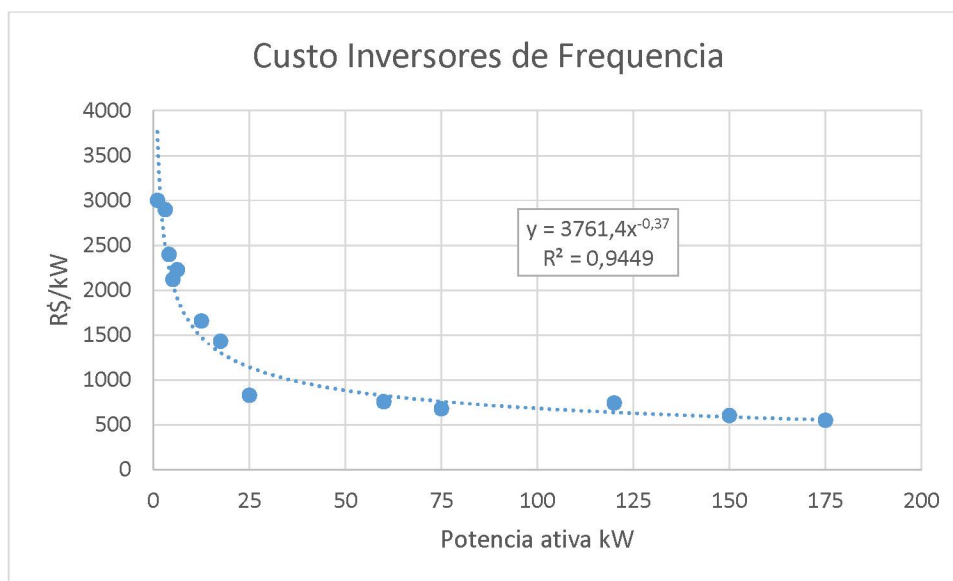


Figura 9. Custo de inversores de frequência por potência ativa.

Fonte: autoria própria.

Demais Custos: suporte, strings, cabemento

Para o presente trabalho, utilizou-se um custo de R\$ 500,00 por kWp.

Custo instalação

Para o presente trabalho, utilizou-se um custo de instalação de R\$ 530,00 por kWp

4.3. ESTUDO DE CASO 1 - CONDOMÍNIO VERTICAL

O condomínio em análise está situado no bairro Batel em Curitiba, PR. Com 23 andares e dois apartamentos por andar, com média de 3,5 moradores por apartamento. Importante, destacar que o prédio está localizado em região de abrangência da rede de gás natural da distribuidora local.

Atualmente o condomínio não conta com sistema de distribuição de água quente, e, portanto, caso se opte por um sistema centralizado é necessária a adaptação da rede de distribuição de água. A centralização da geração de água

quente é interessante porque normalmente os aquecedores individuais de passagem são subutilizados por passarem a maior parte do tempo ociosos.

De acordo com os critérios apresentados na Tabela 5, tem-se um consumo de água quente para o condomínio vertical de 19,8 m³/d (total de 61 usuários). E considerando 16 °C como a temperatura média de Curitiba, o uso da água quente a 40°C e capacidade calorífica da água de 4,187 kJ/kg, identifica-se os consumos térmicos informados na Tabela 9.

Tabela 9. Consumo energia térmica condomínio vertical.

Variável	Descrição	unidade	Valor
Qu	Calor útil	kwh/d	552,8
Qu medio	Potência térmica média diária	kW	23,0

Fonte: autoria própria.

O consumo de energia elétrica, tendo como base o trabalho de Vasconcelos et. al (2007) para uma média de 3,5 habitantes por residência é de 274,1 kWh/mês. Além disto, outro dado importante é o tipo de instalação elétrica dos apartamentos. No condomínio em questão a instalação é trifásica e com isto o consumo médio energético passível de compensação é de 174,1 kWh/mês.

Também foi contemplado na avaliação de potenciais, a necessidade de suprir os requisitos energéticos de acionamento de elevadores, bombas de água iluminação da área comum do condomínio. Com a análise sobre a fatura mensal de energia elétrica, o consumo médio para atendimento destas cargas é de 2105 kWh/mês, cujo custo mensal é cobrado dos condôminos via rateio entre apartamentos. Na Tabela 10 é apresentado o quadro com os consumos energéticos considerados como valores de referência para as análises deste trabalho.

Além dos consumos energéticos previstos acima, também deve ser consideradas demandas adicionais decorrentes da perda de calor em tubulação de água quente e potência elétrica para bombeio de água, nos casos em que o aquecimento é centralizado. Além disso, o sistema associado a bomba de calor requer um incremento da energia elétrica a ser gerada pela cogeração. Foi considerada uma perda térmica pela tubulação equivalente a 5% do calor absorvido

pela água e as demais cargas elétricas adicionais são apresentadas pelos resultados de balanço de energia na sequência deste trabalho.

O sistema de água quente contará com um reservatório que ficará acima do reservatório elevado de água fria. Desta forma, a circulação de água é realizado por uma tubulação que capta água do atual reservatório de água fria no subsolo (cisterna) e envia a uma bomba de circulação. Este equipamento tem como função induzir o fluxo da água, superando as perdas de carga por efeito viscoso nos trocadores de calor, aquecedores, trechos de tubulação e também a diferença de pressão manométrica, resultante da diferença de cota entre a cisterna e o reservatório.

Tabela 10. Consumo energia térmica condomínio vertical.

Local	Variável	Descrição	Energia kWh/mês	Potência média kW
Residências	EE consumo	Soma Consumo Energia Elétrica Mensal média	2.610	17,34
Residências	EE mínima	Consumo mínimo	4.600	6,33
Residências	EE compensável	Consumo passível de compensação	8.010	11,01
Área comum	EE consumo	Soma Consumo Energia Elétrica Mensal média	2.105	2,90
Área comum	EE mínima	Consumo mínimo	100	0,14
Área comum	EE compensável	Consumo passível de compensação	2.005	2,76

Fonte: autoria própria.

Para a definição da vazão de circulação e dimensionamento do reservatório de água quente, diâmetro de tubulação utilizou-se o critério de capacidade diária definido em Creder (2006) e definições da NBR 7198/93. As vazões calculadas por este método são mais conservativas que a NBR 15569/2008, pois considera uma habitação de 2 pessoas por quarto e valores maiores de consumo por ponto. Por outro lado, o volume do reservatório calculado pela norma é superior quando comparado com o outro método, pois de acordo com o critério estabelecido por Creder (2006), tem-se que o volume do reservatório de água quente considera 1/5 do volume diário consumido.

Em um sistema solar, a necessidade de armazenamento é maior que no sistema de cogeração, pois há demandas de água no período noturno, sem sol. No caso da cogeração, a premissa considerada é de que o sistema deve operar entre as 8:00 horas da manhã e as 22:00, para que eventuais ruídos não trabalhem o tradicional período de descanso dos moradores.

Além da vazão obtida pela apuração do consumo diário e período de operação do conjunto motogerador, foram considerados ainda para o dimensionamento preliminar do sistema (projeto conceitual) e estimativa da potência de bombeio, os seguintes parâmetros.

- Material Tubulação: cobre
- Velocidade máxima de escoamentos a montante da bomba: 1,5 m/s
- Velocidade máxima de escoamento da água aquecida: 3,0 m/s
- Diferença de cota entre reservatório frio e bomba: 1 m
- Diferença de cota entre bomba e reservatório quente: 97 m
- Comprimento linha a montante da bomba 5 m
- Comprimento a jusante da bomba 112 m
- Comprimento equivalente devido a acidentes 23 m
- Perda de carga permutadores/ aquecedores: 1 bar
- Eficiência bombeio: 40%
- Fator de fricção conforme equação de Swamee – Jain

Com estes dados, tem-se:

- Vazão de circulação 0,52 kg/s
- Diâmetro tubulação a montante bomba: 1"
- Diâmetro tubulação a jusante bomba: ¾"
- Potência de bombeio 2,15 kW.

Com a instalação de sistema de bombeio de água quente é esperada a redução de vazão das bombas de água fria existente e como consequência a

redução de seu consumo de energia. Desta forma, como saldo líquido foi considerado um incremento de 0,8 kW na potência média de acionamento.

Agrupando os dados referenciados até o momento, tem-se o quadro de potência média requerida para os cenários analisados, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Potências médias de acordo com cenário avaliado (condomínio vertical)

Alternativas		Caso Base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Perdas de calor sistema distribuição água	%	0%	5%	5%	5%	5%	0	0
Calor requerido	kW	23,0	24,2	24,2	24,2	24,2	23,0	23,0
Potência compensação AC	kW	0,0	2,8	2,8	2,8	0,0	2,8	2,8
Potência elétrica compensação Residências	kW	0,0	11,0	11,0	11,0	0,0	11,0	0,0
Potência elétrica compensação bombeio	kW	0,00	14,57	14,57	14,57	0,8	13,8	2,8
Potência elétrica área comum	kW	2,90	0,14	0,14	0,14	2,9	0,1	0,1
Potência elétrica apartamentos	kW	17,34	6,33	6,33	6,33	17,3	6,3	17,3

Fonte: autoria própria.

Da Tabela 11, nota-se que a relação entre calor demandado e potência média elétrica demandada ($\lambda_D=1,66$) é superior a relação entre potência térmica e potência elétrica entregue pelo sistema de cogeração ($\lambda_{CG}=1,56$ da Tabela 6).

Desta forma, optou-se pela estratégia de atender o consumo elétrico passível de compensação e suprir o restante da energia térmica demandada pelos moradores por meio de equipamentos complementares: aquecedores a gás, ou aquecedor solar, ou bomba de calor. Para todos estes sistemas, a redundância de aquecimento a gás se faz necessária para garantir o suprimento de água quente mesmo com a indisponibilidade dos equipamentos principais em caso de manutenção. A partir dos dados da Tabela 11 e da Tabela 6, efetuou-se o balanço de energia de modo a obter o balanço de energia para as opções analisadas para o condomínio vertical, conforme mostrado na Tabela 12.

A partir destas informações é possível obter o consumo mensal dos insumos energéticos para os cenários em análise, conforme a Tabela 13.

Para cada uma das alternativas, os custos dos insumos energéticos foram levantados considerando os dados da Tabela 4 e os critérios de definição da cogeração qualificada da Resolução Normativa ANEEL número 235/2006, de modo a obter a Tabela 14.

Tabela 12. Balanço energia para as opções consideradas (kW médio).

	Caso Base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
FCG		45,5	45,5	46,1			
WuCG		14,6	14,6	14,8			
QuCG		22,77	22,77	23,07			
QNUCG		8,20	8,20	8,31			
QB	23,03	1,48	0,00	0,00	0,00	23,03	23,03
FB	27,75	1,74	0,00	0,00	0,00	27,75	27,75
Qs		0,00	1,48	0,00	24,24		
QHP		0,00	0,00	1,17			
WHP		0	0	0,20			
WD		14,57	14,57	14,57			
WPV						13,77	2,76
QD	23,03	24,24	24,24	24,24	24,24	23,03	23,03
C EE comum	2,90	0,14	0,14	0,14	2,90	0,14	0,14
C EE aptos	17,34	6,33	6,33	6,33	17,34	6,33	17,34
C EE aptos+comum	20,24	6,46	6,46	6,46	20,24	6,46	17,48
F`	27,75	47,27	45,54	46,15	0,00	27,75	27,75
EUf`	0,83	0,82	0,85	0,84		0,83	0,83

Fonte: autoria própria.

Tabela 13. Balanço energia para as opções consideradas (kWh/mês).

	caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Consumo GN aquecimento água	20.179	34.377	33.115	33.558	-	20.179	20.179

Consumo mensal EE área comum	2.105	100	100	100	2.105	100	100
Consumo mensal EE residências	12.610	4.600	4.600	4.600	12.610	4.600	12.610
Total	34.894	39.077	37.815	38.258	14.715	24.879	32.889

Fonte: autoria própria.

Tabela 14. Custos insumos energéticos (R\$/kWh).

	caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Consumo GN aquecimento água	0,4369	0,2033	0,2033	0,2033	0,4369	0,4369	0,4369
Consumo mensal EE área comum	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988
Consumo mensal EE residências	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988
Média	0,5895	0,2748	0,2772	0,2763	0,7988	0,5053	0,5768

Fonte: autoria própria.

Multiplicando os dados da Tabela 13 e Tabela 14 obtém-se os gastos mensais com insumos energéticos, informados na Tabela 15.

Tabela 15. Custos mensais com insumos energéticos (R\$/mês).

	caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Consumo GN aquecimento água	8.816,7	6.987,5	6.730,9	6.821,0	-	8.816,7	8.816,7
Consumo mensal EE área comum	1.681,6	79,9	79,9	79,9	1.681,6	79,9	79,9
Consumo mensal EE residências	10.072,4	3.674,4	3.674,4	3.674,4	10.072,4	3.674,4	10.072,4
Total	20.570,7	10.746,4	10.496,5	10.584,3	11.754,1	12.570,9	18.969,0
Custo Energético por residência	447,2	233,5	227,9	229,9	255,5	273,3	412,4

Fonte: autoria própria.

Com os resultados apontados acima nota-se uma economia expressiva nos custos com energia para as estratégias selecionadas. Entretanto, para verificar a atratividade econômica das tecnologias selecionadas é necessário apurar os custos de investimento e de operação e manutenção dos equipamentos.

A estimativa de custo de investimento tomou como base os parâmetros dimensionais mostrados na Tabela 16.

Tabela 16. Parâmetros dos principais equipamentos utilizados na estimativa de custo

Equipamento	Parâmetro
Motogerador	Potência elétrica
Reservatório térmico	Volume armazenamento água
Tubulação sucção	Comprimento
tubulação descarga	Comprimento
medidor água	Número de unidade consumidoras
Bomba circulação	Potência elétrica
bomba de calor	Potência aquecimento
Aquecedores água	Potência liberada para aquecimento
painel Solar	Área coletores
painel fotovoltaico	Potência pico

Fonte: autoria própria.

Na Tabela 17 são apresentados os resultados obtidos dos parâmetros dimensionais mais relevantes obtidos a partir dos cálculos de dimensionamento prévio.

Tabela 17. Características dimensionais de equipamentos (condomínio vertical).

		caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Motogerador	kW	-	30,0	30,0	30,0	0,0	0,0	0,0
Reservatório Térmico	m ³	-	6,61	6,61	6,61	14,85	-	-
Tubulação	m	-	112	112	112	112	-	-

medidor água	unidade	-	46	46	46	46	-	-
Bomba circulação	kW	-	2,15	2,15	2,15	2,15	0,00	0,00
bomba de calor	kW térmico	-	-	-	1,17	-	-	-
Aquecedores água	kW térmico liberada	-	113,11	113,11	113,11	-	-	-
painel Solar	m2	-	0,0	12,7	0,0	208,4	0,0	0,0
painel fotovoltaico	kWp	-	-	-	-	5,58	96,03	19,23

Fonte: autoria própria.

O custo de investimento tem como base os parâmetros dimensionais listados na Tabela 16, e os valores definidos no item 4.2 deste trabalho. Deste modo, obteve-se os custos de investimento para o condomínio vertical, apresentados nas Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 18. Custos paramétricos para de investimento (condomínio vertical).

		caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Motogerador	R\$/kW	8.784	8.784	8.784	8.784	8.784	8.784	8.784
Reservatório Térmico	R\$/m3	-	2.609	2.609	2.609	2.323	-	-
tubulação	R\$/m	110	110	110	110	110	110	110
medidor	R\$/unid	200	200	200	200	200	200	200
Bomba circulação	R\$/kW	-	3.619	3.619	3.619			
bomba de calor	R\$/kW	-	2.475	2.475	2.475			
Aquecedores agua	R\$/kW	-	72	72	72	-	-	-
painel Solar	R\$/m2	535	535	535	535	535	535	535
painel fotovoltaico	R\$/kWp	6.361	3.123	3.123	3.123	5.115	3.818	4.383

Fonte: autoria própria.

Tabela 19. Custo investimento alternativas analisadas (condomínio vertical).

		caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Motogerador	mil R\$	0,00	263,51	263,51	263,51	0,00	0,00	0,00

Reservatório Térmico	mil R\$	0,00	17,24	17,24	17,24	34,51	0,00	0,00
tubulação	mil R\$	0,00	12,32	12,32	12,32	12,32	0,00	0,00
medidor	mil R\$	0,00	9,20	9,20	9,20	9,20	0,00	0,00
Bomba circulação	mil R\$	0,00	7,77	7,77	7,77	0,00	0,00	0,00
bomba de calor	mil R\$	0,00	0,00	0,00	2,90	0,00	0,00	0,00
Aquecedores agua	mil R\$	0,00	8,11	8,11	8,11	0,00	0,00	0,00
painel Solar	mil R\$	0,00	0,00	6,79	0,00	111,51	0,00	0,00
painel fotovoltaico	mil R\$	0,00	0,00	0,00	0,00	28,53	366,67	84,28
Total	mil R\$	0,00	318,15	324,93	321,05	196,07	366,67	84,28

Fonte: autoria própria.

Com relação ao custo de operação e manutenção foram considerados as seguintes referências:

- Caso base: Aquecedor a gás R\$100,00 por ano por equipamento
- Sistema de cogeração: 0,03% do valor investido ao ano.
- Sistema de aquecimento solar: 0,02% do valor investido ao ano.
- Sistema fotovoltaico: 0,01% do valor investido ao ano.

Desta forma, obtém-se os seguintes valores mensais de O&M informados na Tabela 20.

Tabela 20. Custo de operação e manutenção (R\$/mês) para condomínio vertical.

	caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
O&M	383	361	361	361	326,8	384	383

Fonte: autoria própria.

Com o objetivo de possibilitar a comparação entre as alternativas do ponto de vista financeiro se faz necessário transformar o custo de investimento em valor

presente para base mensal (considerando fluxo de caixa contínuo). Deste modo foi adotado a aplicação de fator para esta transformação em função da taxa de juros:

$$\beta_i = \frac{i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (18)$$

Onde:

β_i - fator conversão valor presente fluxo de caixa uniforme

i - taxa de juros, aqui considerada em 10% ao ano (0,8%a.m)

N – Período do tempo de vida do projeto: 20 anos / 240 meses

Desta forma, com valor de $\beta_i=0,1175$ foi obtido do quadro comparativo com a economia anual em relação ao caso base:

Tabela 21. Economia em relação ao caso base (mil R\$/ano) condomínio vertical.

	caso base	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Economia Energia em relação caso base		118	121	120	106	96	19
Custo investimento		(37,37)	(38,17)	(37,71)	(23,03)	(43,07)	(9,90)
incremento custo O&M		(0,27)	(0,27)	(0,27)	(0,68)	0,00	0,00
total		80,3	82,6	82,0	82,1	52,9	9,3

Fonte: autoria própria.

Como pode ser observado na Tabela 21, em todos os casos analisados a economia é positiva em relação ao caso base.

A atratividade das alternativas pode ser comparada por meio da divisão entre a economia operacional e o custo de investimento anualizado, com os resultados ilustrados na Tabela 22.

Tabela 22. Economia anual/custo de investimento anualizado (condomínio vertical).

	CG+AQ	CG+AS	CG+BC	AS	FVT	FVAC
Economia anual/custo de investimento anualizado	5,31	5,33	5,35	8,16	3,46	2,88

Fonte: autoria própria.

A partir das premissas adotadas e dos resultados listados no quadro acima, observa-se em ordem da maior para a menor de rentabilidade os seguintes projetos:

- Aquecimento solar
- Aplicação de cogeração a ciclo Otto
- Geração fotovoltaica.

Contudo, além da atratividade econômica, devem ser considerados outros aspectos. De maneira geral, as alterações nos condomínios devem ser realizadas em acordo com o estatuto e assembleias do condomínio. Por outro lado, em novos projetos está acaba não sendo uma restrição. Do ponto de vista técnico, devem ser observadas as limitações físicas dos condomínios quanto as instalações.

As aplicações de obtenção de energia solar requerem o uso de áreas disponíveis, para a instalação dos coletores ou painéis, com baixo nível de sombreamento. Para o condomínio analisado neste estudo, a área de laje que se enquadra nestas características é de aproximadamente 30 m². Na Tabela 23, é apresentada a área calculada dos coletores e painéis solares para os cenários avaliados.

Tabela 23. Área em m² de painéis e coletores (condomínio vertical).

	Coletores Solar	Painéis solar
CG+AQ	0	0
CG+AS	12,7	0
CG+BC	0,0	0
AS	208,4	33
FVT	0	573
FVAC	0	115

Fonte: autoria própria.

Conforme pode ser observado, apenas para o cenário onde o aquecimento solar suplementa o calor fornecido por cogeração existe a compatibilidade entre diminuições das placas e área disponível.

Concluindo, para o condomínio em análise, a aplicação que apresenta maior atratividade econômica, atendendo as restrições físicas, é a cogeração.

Neste sistema é interessante a instalação de medidores de vazão de água quente para melhorar o rateio da energia térmica fornecida pelo gás natural. Por outro lado, o rateio do consumo do gás para geração de energia elétrica pode ser por meio da medição de consumo realizada em medidores existentes.

Considerando a opção de cogeração com uso de bomba de calor para suprimento suplementar como a alternativa mais interessante para o condomínio vertical, foram calculados os principais indicadores econômicos, com base no método do fluxo de caixa descontado, sendo os resultados apresentados na Tabela 24. A taxa mínima de atratividade foi considerada com o valor 7,1% ao ano, utilizando como referência o custo médio ponderado de capital apresentado em Nota Técnica da ANEEL (número 37/2019).

Tabela 24. Indicadores econômicos para cogeração com bomba de calor (condomínio vertical)

TMA	7,1%
VPL	\$894.353,5
TIR	36%
Payback descontado	3,2

Fonte: autoria própria.

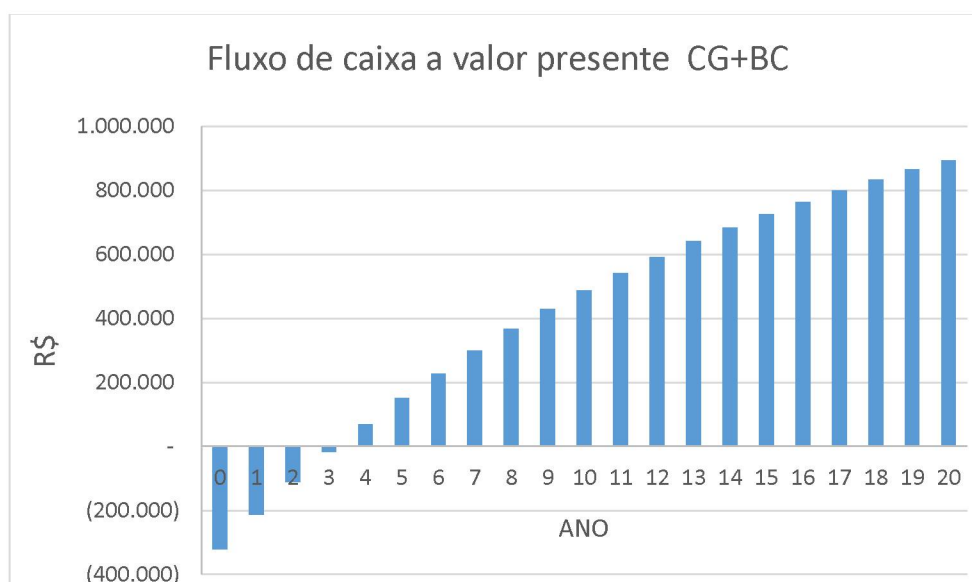


Figura 10. Fluxo de caixa líquido a valor presente para cogeração com bomba de calor (condomínio vertical)

Fonte: autoria própria.

4.4. ESTUDO DE CASO 2 - CONDOMÍNIO HORIZONTAL

O condomínio em análise está situado no bairro Fazendinha em Curitiba, PR, perfazendo uma área de 48.404,17 m² com 151 residências instaladas. Com uma média de quatro moradores por residência, tem-se um total de 604 habitantes.



Figura 11. Vista aérea condomínio horizontal analisado.

Fonte: Google Maps, 2019.

De acordo com os critérios apresentados na Tabela 5, tem-se um consumo de água quente para o condomínio vertical de 19,8 m³/d (total de 604 usuários). E considerando 16 °C como a temperatura média de Curitiba, o uso da água quente a 40°C e capacidade calorífica da água de 4,187 kJ/kg, obtém-se os consumos de energia térmica ilustrados na Tabela 25.

Tabela 25. Consumo energia térmica no condomínio horizontal.

Variável	Descrição	Unidade	Valor
Qu	Calor útil	kwh/d	2073,7
Qu medio	Potência térmica média diária	kW	86,4

Fonte: autoria própria.

O consumo de energia elétrica, tendo como base o trabalho de Vasconcelos et. al (2007) para uma média de 4 habitantes por residência é de 354,5 kWh/mês. Além disto, outro dado importante é o tipo de instalação elétrica dos apartamentos. No condomínio em questão a instalação é trifásica e com isto o consumo energético passível de compensação é de 254,5 kWh/mês.

O consumo energético da área comum apurado por meio da média faturada nos últimos 12 meses é de 2216 kWh/mês. Na Tabela 26 é apresentado o quadro com os consumos energéticos considerados para esta análise.

Tabela 26. Consumo energia no condomínio horizontal.

Local	variável	descrição	Energia kWh/mês	Potência média kW
Residências	EE consumo	Soma Consumo Energia Elétrica Mensal média	53.533	73,61
Residências	EE mínima	Consumo mínimo	4.600	6,33
Residências	EE compensável	Consumo passível de compensação	48.933	67,29
Área comum	EE consumo	Soma Consumo Energia Elétrica Mensal média	2.216	3,05
Área comum	EE mínima	Consumo mínimo	100	0,14
Área comum	EE compensável	Consumo passível de compensação	2.116	2,91

Fonte: autoria própria.

De forma análoga, ao apresentado para o condomínio vertical, para os cenários com distribuição de água quente, devem ser inclusas as perdas de calor e potência adicional de bombeio no balanço de energia, além dos consumos listados nas Tabela 25 e Tabela 26.

A central de distribuição de água quente só faria algum sentido nos cenários de cogeração, pois no caso de aquecimento solar é mais interessante a instalação individual, pois ela evita os custos de instalação de uma rede de água quente. Pois, ao contrário de um condomínio vertical os coletores podem ser instalados no próprio telhado das casas, próximo dos pontos de consumo. Portanto, o cenário de uso de aquecimento solar tem seus custos de investimento considerado para a aplicação individual. Por outro, lado o cenário de uso de geração fotovoltaica considerou a geração comum ao condomínio. A seguir será realizada análise comparativa entre a instalação individual e coletiva.

Como primeira aproximação ao problema, os consumos relacionados a perdas energéticas do sistema de distribuição e a potência de bombeio, não foram consideradas no balanço prévio apresentado na Tabela 26. Apesar desta

simplificação, é possível chegar a algumas conclusões sobre o sistema de cogeração para esta aplicação.

Tabela 27. Potências médias de acordo com cenário avaliado.

Alternativas		Caso Base	CG	AS	FVT	FVAC
Perdas de calor sistema distribuição água	%	0%	0%	0%	0	0
Calor requerido	kW	86,4	86,4	86,4	86,4	86,4
Potência compensação AC	kW	0,0	2,9	0,0	2,9	2,9
Potência elétrica compensação Residências	KW	0,0	67,3	0,0	67,3	0,0
Potência elétrica compensação bombeio	kW	0,00	70,20	0,0	70,2	2,9
Potência elétrica área comum	kW	3,05	0,14	3,0	0,1	0,1
Potência elétrica residências	kW	73,61	6,33	73,6	6,3	73,6

Fonte: autoria própria.

Da Tabela 27, nota-se que a relação entre calor demandado e potência média elétrica demandada ($\lambda_D=1,28$) é inferior a relação entre potência térmica e potência elétrica entregue pelo sistema de cogeração ($\lambda_{CG}=1,56$ da Tabela 6). Mesmo que adicionadas as demandas extras referentes a perda de calor e a potência de bombeio, não é esperado que o valor de λ_D supere o valor de λ_{CG} . Desta forma, não faz sentido a utilização de fonte de calor adicional para aquecimento de água.

Com base nos valores de demanda citados, tem-se o seguinte balanço de suprimento de energia ilustrado na Tabela 28.

A partir destas informações é possível obter o consumo mensal dos insumos energéticos para os cenários em análise, conforme a Tabela 29.

Para cada uma das alternativas, os custos dos insumos energéticos foram levantados considerando os dados da Tabela 4. Entretanto, para o uso de GLP, não é identificada uma diferenciação tarifária que permita uma vantagem para o cenário de cogeração, vide resultados apresentados na

Tabela 30.

Multiplicando os dados da Tabela 29 e

Tabela 30 tem-se os gastos mensais com insumos energéticos, apresentado na Tabela 31.

Tabela 28. Balanço energia para as opções consideradas (kW médio).

	Caso Base	CG	AS	FVT	FVAC
FCG		219,4			
WuCG		70,2			
QuCG		86,41			
QNUCG		62,77			
QB	86,41	0,00	0,00	86,41	86,41
FB	104,10	0,00	0,00	104,10	104,10
Qs		0,00	86,41		
QHP		0,00			
WHP		0			
WD		70,20			
WPV				70,20	2,91
QD	86,41	86,41	86,41	86,41	86,41
C EE comum	3,05	0,14	3,05	0,14	0,14
C EE aptos	73,61	6,33	73,61	6,33	73,61
C EE aptos+comum	76,66	6,46	76,66	6,46	73,75
F`	104,10	219,37	0,00	104,10	104,10
EUF`	0,83	0,71		0,83	0,83

Fonte: autoria própria.

Tabela 29. Balanço energia para as opções consideradas (kWh/mês).

	caso base	CG	AS	FVT	FVAC
Consumo GN aquecimento água	75.704	159.527	-	75.704	75.704

Consumo mensal EE area comum	2.216	100	2.216	100	100
Consumo mensal EE residências	53.533	4.600	53.533	4.600	53.533
Total	131.452	164.227	55.749	80.404	129.336

Fonte: autoria própria.

Tabela 30. Custos insumos energéticos condomínio horizontal (R\$/kWh).

	caso base	CG	AS	FVT	FVAC
Consumo GLP aquecimento água	0,4368	0,4368	0,4368	0,4368	0,4368
Consumo mensal EE area comum	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988
Consumo mensal EE residências	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988	0,7988
Média	0,5903	0,4472	0,7988	0,4580	0,5869

Fonte: autoria própria.

Tabela 31. Custos mensais insumos energéticos condomínio horizontal (R\$/mês).

	caso base	CG	AS	FVT	FVAC
Consumo GN aquecimento água	33.066,8	69.679,7	-	33.066,8	33.066,8
Consumo mensal EE área comum	1.770,1	79,9	1.770,1	79,9	79,9
Consumo mensal EE residências	42.760,7	3.674,4	42.760,7	3.674,4	42.760,7
Total	77.597,6	73.434,0	44.530,8	36.821,0	75.907,3
Custo Energético por residência	513,9	486,3	294,9	243,8	502,7

Fonte: autoria própria.

Como pode ser observado na Tabela 31, a redução de custos para o cenário com uso da cogeração em relação ao cenário base é apenas 5,4%. Para os demais cenários, a economia é significativa e justificam a realização de uma análise de viabilidade de investimento.

A análise de custos de investimentos e de operação e manutenção foi conduzida de forma análoga ao realizado para o condomínio vertical e os resultados estão apresentados nas Tabela 32, Tabela 33, Tabela 34, Tabela 35 e Tabela 36.

Tabela 32. Características dimensionais de equipamentos (condomínio horizontal).

		caso base	CG	AS	FVT	FVAC
Motogerador	kW	0,0	141,0	-	0,0	0,0
Reservatório térmico	m3	-	21,7	55,7	-	-
Aquecedores água	kW térmico	0	371,3	-	-	-
painel Solar	m2	0,0	0,0	742,8	0,0	0,0
painel fotovoltaico	kWp		-	-	489,51	20,29

Fonte: autoria própria.

Tabela 33. Custos paramétricos para de investimento (condomínio horizontal).

		caso base	CG	AS	FVT	FVAC
Motogerador	R\$/kW	8.784	8.784	8.784	8.784	8.784
Reservatório Térmico	R\$/m3	-	2.201	3.896	-	-
Aquecedores água	R\$/kW	-	72	-	-	-
painel Solar	R\$/m2	535	535	535	535	535
painel fotovoltaico	R\$/kWp	6.361	3.123	3.123	3.504	4.358

Fonte: autoria própria.

Tabela 34. Custo investimento alternativas analisadas (condomínio horizontal).

		caso base	CG	AS	FVT	FVAC
Motogerador	mil R\$	0,00	1.238,49	0,00	0,00	0,00
Reservatório térmico	mil R\$	0,00	47,74	217,17	0,00	0,00
Aquecedores água	mil R\$	0,00	26,63	0,00	0,00	0,00
painel Solar	mil R\$	0,00	0,00	397,42	0,00	0,00
painel fotovoltaico	mil R\$	0,00	0,00	0,00	1.715,07	88,43
Total	mil R\$	0,00	1.343,06	644,7	1.715,07	88,43

Fonte: autoria própria.

Tabela 35. Custo de operação e manutenção (R\$/mês) para condomínio horizontal.

	caso base	CG	AS	FVT	FVAC
O&M	1.258	1.571	1.075	1.260	1.258

Fonte: autoria própria.

Tabela 36. Economia em relação ao caso base (mil R\$/ano) condomínio horizontal.

	caso base	CG	AS	FVT	FVAC
Economia Energia em relação caso base		50	397	489	20
Custo investimento		(157,76)	(75,73)	(201,45)	(10,39)
Incremento custo O&M		3,76	(2,21)	0,02	0,001
Total		(104,0)	318,9	287,9	9,9

Fonte: autoria própria.

Conforme observado na Tabela 36 para o cenário de cogeração, os custos de investimento superam de forma significativa a economia em relação ao caso base. Portanto, o uso de GLP para a aplicação não é viável do ponto de vista econômico. Na Tabela 37 é apresentado o comparativo das demais opções, considerando a relação entre economia anual e investimento anualizado.

Tabela 37. Economia anual/custo de investimento anualizado (condomínio horizontal).

	AS	FVT	FVAC
Economia anual/custo de investimento anualizado	9,45	3,86	2,91

Fonte: autoria própria.

Com base nas premissas apresentadas, o aquecimento solar apresentou a maior atratividade econômica seguida da instalação fotovoltaica coletiva para todas as residências e da instalação para área comum.

A área de coletores solar mínima requerida para aquecimento de uma residência é de 4,9 m², enquanto a área mínima requerida para o sistema fotovoltaico é de 19,3 m². Portanto, caso haja área de telhado sem desvios significativos em relação ao norte e sem sombreamento, podem ser adotadas as duas alternativas simultaneamente.

4.5. COMPARATIVO ENTRE A INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS DE FORMA INDIVIDUAL E COLETIVA

A instalação de sistemas fotovoltaico em forma de compartilhamento, como prevê a resolução ANEEL 687/15, traz como principal vantagem a economia de escala, quando comparada com a instalação das residências de forma individualizada.

É esperado que, na instalação nas residências de forma individualizada, exista sobra de área de captação da energia solar, pois os painéis têm tamanhos pré-definidos.

Além disso, o custo de variadores de frequência por potência instalada é reduzido de modo significativo com o aumento da potência instalada, vide Figura 12.

Um sistema centralizado gera uma economia na instalação por residência de 37% em relação ao sistema individual, considerando apenas o efeito de compartilhamento de variadores de frequência.

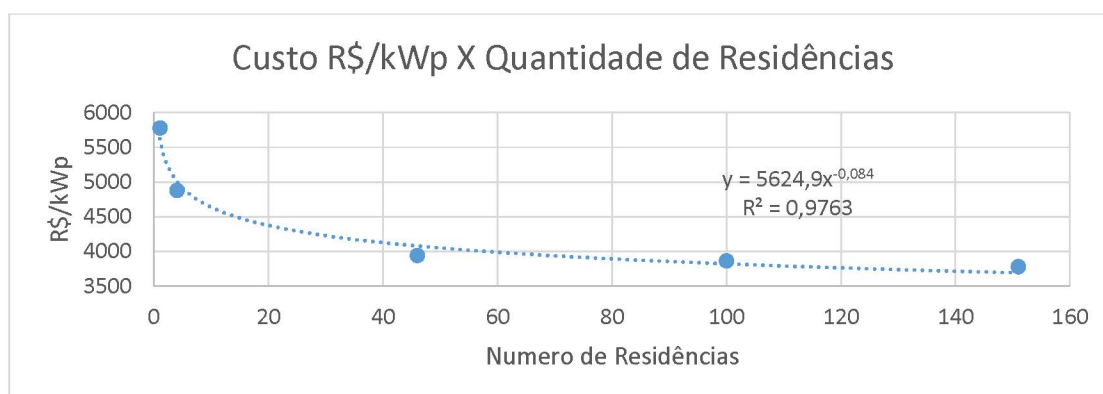


Figura 12. Custo instalação sistemas fotovoltaicos em função do número de residências.

Fonte: autoria própria.

Para o condomínio avaliado, a economia com o compartilhamento de inversor pode chegar a cerca de R\$ 1 milhão. (R\$ 6.6 mil por residência). Contudo, deve ser feita a avaliação da instalação elétrica e suas limitações para este uso.

Considerando a possibilidade de implementação das opções de uso aquecimento solar e geração elétrica fotovoltaica, foram calculados os principais indicadores econômicos, com base no método do fluxo de caixa descontado, sendo

os resultados apresentados nas Tabela 38 e Tabela 39. Como taxa mínima de atratividade foi considerado o valor de 7,1%, conforme o custo médio ponderado de capital apresentado em Nota Técnica da ANEEL (no 37/2019).

Identifica-se que o tempo de retorno do investimento é de 1,8 anos para a geração fotovoltaica e 4,2 anos para o aquecimento termosolar para as condições do condomínio horizontal avaliadas, vide Figura 13 e Figura 14.

Tabela 38. Indicadores econômicos para geração fotovoltaica.

TMA	7,1%
VPL	R\$ 3.391.003,4
TIR	60%
Payback descontado	1,8

Fonte: autoria própria.

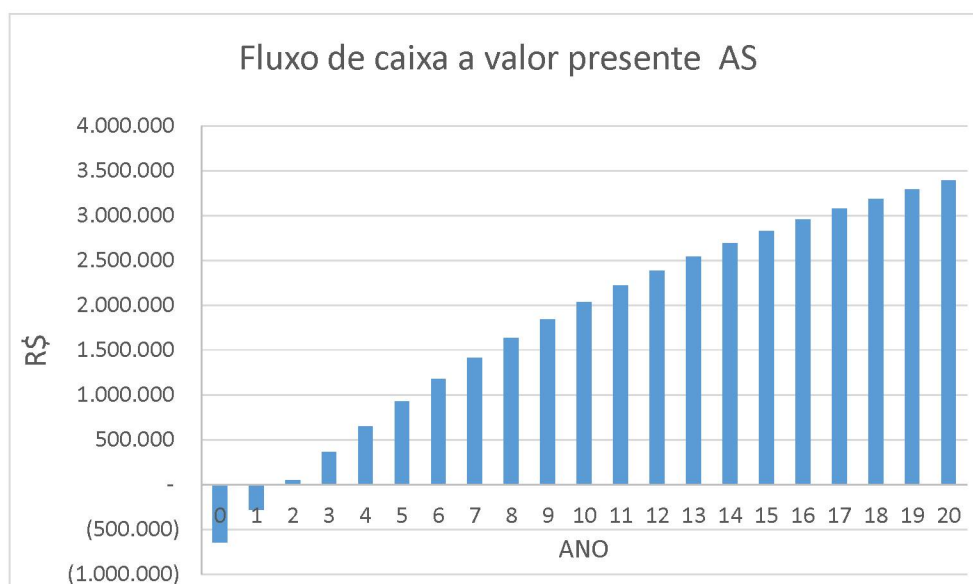


Figura 13. Fluxo de caixa líquido a valor presente para aquecimento solar.

Fonte: autoria própria.

Tabela 39. Indicadores econômicos para aquecimento solar

TMA	7,1%
VPL	R\$ 3.269.817,1
TIR	27%
Payback descontado	4,2

Fonte: autoria própria.

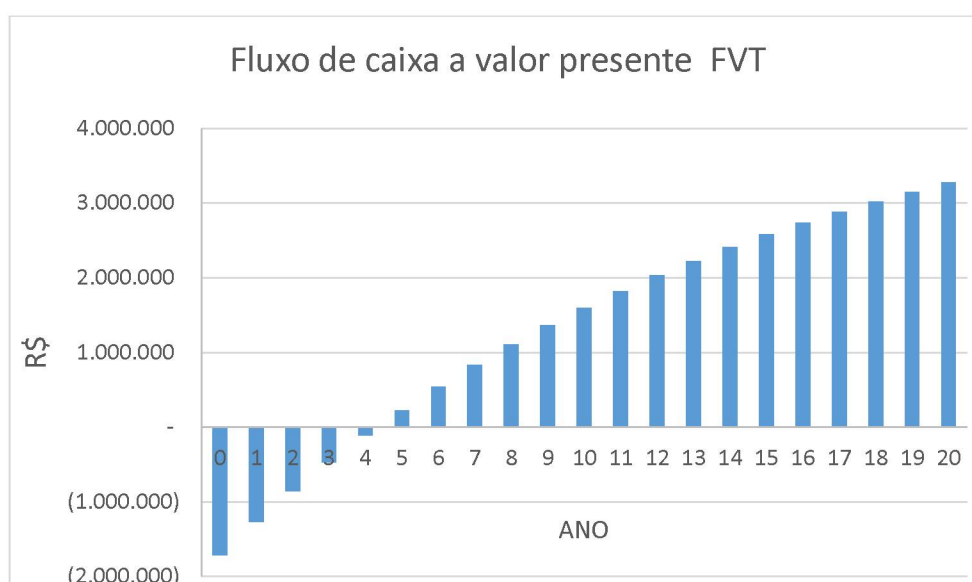


Figura 14. Fluxo de caixa líquido a valor presente para geração fotovoltaica.

Fonte: autoria própria.

4.6. AVALIAÇÃO POTENCIAL DE USO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO, NO CONDOMÍNIO

O biogás possui quantidade significativa de metano, obtido pelo processo de fermentação anaeróbia. Pela combustão do metano, pode-se suprir parte da demanda térmica do condomínio, ou eventualmente gerar energia elétrica por meio e processo de conversão de energia, como por exemplo, o uso de moto geradores.

O potencial de geração de biogás por meio do aproveitamento de RSU, para o condomínio em avaliação, foi levantado considerando os dados disponibilizados por Jende et al (2015) no sistema de digestão anaeróbica seca contínua.

Tabela 40. Potencial energético do biogás produzido no condomínio.

Geração de lixo (Abrelpe, 2017)	kg/Ha/d	0,757
Geração de lixo	kg/d	457
Fração orgânica	%	60%
Sólidos totais (Jende et al, 2015)	%	35%
Sólidos voláteis (Jende et al, 2015)	%	75%
Potencial de produção Biogás (Jende et al, 2015)	Nm ³ /t SV	250
Porcentagem CH ₄ (Jende et al, 2015)	%	62%

Produção de biogás (Jende et al, 2015)	Nm ³ /d	18
Produção metano	kg/d	8
PCI metano	kJ/kg	49993
Potencial energético (térmico)	MJ/d	397
Potencial energético (térmico)	kWh/d	110
Potência média (térmica)	KW	4,60
Potência média por habitante (térmica)	W/ha	7,61
Potência térmica média consumida por habitante	W/ha	143
Potência elétrica média consumida por habitante	W/ha	127

Fonte: autoria própria.

Conforme pode ser observado na Tabela 40, o potencial de geração de calor por meio da queima do biogás é relativamente baixo, quando comparado com a potência média necessária para aquecimento de água ou para energia elétrica demandada. A potência de produção de calor pelo biogás equivale a 5,3% da demanda térmica para aquecimento de água dos moradores. Este valor não considera as ineficiências da conversão e distribuição de energia. Considerando o custo do GLP em 0,437 R\$/kWh (base PCI), o potencial de redução de custos com o biogás é de R\$1.466,50 por mês, para todo o condomínio (2,43 R\$/(mês.morador)).

Considerando, que a tecnologia mais apropriada para o caso em questão é Digestão Anaeróbia Seca Contínua, tem-se um custo de instalação de 31.500,00 R\$/m³ de CH₄ (Jeden et al, 2015). Normalmente, estes sistemas são aplicados em escalas maiores, que tende a reduzir o custo por produção de metano. Portanto, adotou-se de forma conservativa, um fator de 1,5 para o custo estimado de instalação. Considerando um tempo de retenção hidráulica de 30 dias, o volume do reator é de 9 m³ (274kg/d de fração orgânica processada com massa específica de 1 kg/L).

Os custos de operação e manutenção do sistema, tendo como base a aplicação de tecnologia semelhante, é estimada em EU\$ 60 por tonelada, considerando a extrapolação linear de dados apresentados por COLTURATO (2015). Desta forma, o custo mensal de operação e manutenção do sistema

totalizaria R\$ 3.753,11. Na Tabela 41 é apresentado o resumo dos dados levantados e obtidos.

Tabela 41. Estimativa de custos do biodigestor.

Investimento Biodigestor (Jende et al, 2015)	R\$/(m ³ /h) CH ₄	31.500,00
Fator escala		1,50
Massa específica metano	kg/Nm ³	0,71
Vazão volumétrica metano	m ³ /h	0,47
Custo Investimento Biodigestor	R\$	21.975,34
Custo Educação Ambiental Moradores	R\$	2.516,67
Custo Operação e Manutenção	R\$/mês	3.753,11
Receita bruta gerada pelo projeto	R\$/mês	1.436,0

Fonte: autoria própria.

Com isto, a redução de custos obtida com o biogás é inferior aos custos com operação e manutenção. Para aumentar a receita poderia ser adotada a estratégia de venda do resíduo sólido e líquido como biofertilizante, entretanto seria necessário estruturar sistema de envase e de venda deste subproduto.

Outro aspecto relevante do ponto de vista do aproveitamento do biogás é a intercambialidade de combustível. Caso seja considerada a possibilidade de injeção na rede de distribuição de gás do condomínio, deve-se levar em conta a diferente composição do biogás em relação ao GLP e ao gás natural, pois o uso da mistura pode levar a falha de chama nos queimadores, com os seguintes aspectos: descolamento de chama, retorno de chama, formação de pontas amarelas e fuligem, combustão incompleta geração monóxido de carbono. A intercambialidade entre combustíveis gasosos é objeto da análise de Weaver (1951).

Considerando as restrições de escala, custos, e intercambialidade entre combustíveis, conclui-se que o uso de biogás não é apropriado para uso em condomínios, para a tecnologia analisada. A aplicação do biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos pode ser melhor avaliada em centrais com maior capacidade, onde o ganho de escala é mais significativo

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho, foram avaliadas algumas possibilidades de geração de energia em dois condomínios a partir de fontes renováveis e por meio da cogeração, no contexto da resolução ANEEL 687/15.

Para o condomínio vertical, houve restrição entre a compatibilidade da área disponível e a requerida para uso de energia solar, tanto para sistema centralizado de aquecimento de água quanto para o cenário de utilização de painéis fotovoltaicos. Neste caso, a melhor solução encontrada foi o suprimento de energia elétrica e térmica por meio de cogeração. A tarifa diferenciada do gás natural, para esta modalidade de consumo permite que os parâmetros financeiros sejam favoráveis ao investimento no emprego desta tecnologia. Isto faz sentido, do ponto de vista da racionalização do uso da energia, pois com a cogeração se obtêm um fator de utilização do combustível superior a eficiência de centrais termoelétricas a gás. Para o cenário de cogeração com suplementação de energia térmica por meio de bomba de calor, foi obtido um “Payback” em fluxo de caixa descontado de 3,2 anos, considerando uma estimativa de custos a nível de projeto conceitual.

No caso do condomínio horizontal, foi observada uma alta atratividade para o uso da energia termosolar no aquecimento de água. Este resultado chama a atenção pelo fato da incidência de irradiação solar na cidade de Curitiba não ser tão elevada quanto que em outras regiões do Brasil. Simultaneamente, a aplicação de painéis fotovoltaicos também apresenta atratividade econômica favorável. Obteve-se um “Payback” em fluxo de caixa descontado de 1,8 e 4,2 anos. Como diferencial, na avaliação econômica, foi apontada a possibilidade de compartilhamento de inversores de frequência entre os condôminos, cujo potencial de redução de investimentos em instalação de energia fotovoltaica é da ordem de 37%, segundo o caso analisado.

O potencial de obtenção de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos, tanto pela incineração quanto por meio da utilização de biogás, encontra restrições quanto a escala, mesmo quando considerado um condomínio com 604 moradores. Desta forma, entende-se que este tipo de aproveitamento possa ser melhor explorado à nível municipal, ou eventualmente em bairros.

Mesmo com a boa atratividade de projetos de micro e minigeração, como a demonstrada neste trabalho, a produção de energia elétrica por estes segmentos totalizou 0,63% de todo o consumo elétrico residencial no ano de 2018 (Segundo dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE). Contudo, cabe a observação de que está em curso, ainda em 2019, a revisão das resoluções normativas da ANEEL para o sistema de compensação de energia, o que pode afetar a atratividade dos futuros projetos.

Contudo, cabe destacar que a micro e minigeração distribuída favorecem o uso racional de energia e o melhor aproveitamento de fontes renováveis, contribuindo para segurança energética, redução de custos com energia elétrica no país e redução de impactos ambientais em relação as formas convencionais de obtenção de energia elétrica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Scharmer, O. and Kaeufer, K. **Leading from Emerging Future**. Berrett-Koehler Publisher, Inc. São Francisco -California, 2013.

Goldember, J. e Lucon, O. **Energias Renováveis um Futuro Sustentável**. REVISTA USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007

Jende, O. et al. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015

OLIVEIRA, L. B. **POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE LIXO E DE BIODIESEL DE INSUMOS RESIDUAIS NO BRASIL**. Tese de doutorado (Ph.D) em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004

Energy International Agency (EIA), **WORLD ENERGY BALANCES OVERVIEW** (2019 edition) , disponível em <https://webstore.iea.org/> (acesso em 21/09/2019)

Empresa de Pesquisa Energética (EPE), **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL-2019**, disponível em <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes> (acesso em 21/09/2019).

Pavan, M. C. O. **GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTI DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: AVALIAÇÃO E DIRETRIZES PARA TECNOLOGIAS POTENCIALMENTE APLICÁVEIS NO BRASIL**, Tese de Doutorado-USP, São Paulo, 2010.

EPE. **NOTA TÉCNICA DEA 16/14 ECONOMICIDADE E COMPETITIVIDADE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**, Rio de Janeiro 2014.

EPE. **NOTA TÉCNICA DEA 18/14 INVENTÁRIO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**, Rio de Janeiro 2014.

Rodríguez, M.E.D.B. **COST-BENEFIT ANALYSIS OF A WASTE TO ENERGY PLANT FOR MONTEVIDEO; AND WASTE TO ENERGY IN SMALL ISLANDS**, M.S. degree dissertation. Columbia University, October 2011.

OLIVEIRA, L. B. **POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE LIXO E DE BIODIESEL DE INSUMOS RESIDUAIS NO BRASIL**. Tese de doutorado (Ph.D) em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004

Jende, O. et al. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015

Vasconcellos, L. E. M. et al. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Dados de Uso - Classe Residencial Região Sul**. PROCEL, setembro 2007.

Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, Relatório ABRELPE. 2017

<https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/producao-de-energia-eletrica-a-partir-do-biogas-cresce-14-em-2017/20180131-150528-A152> (31-08-2018), acesso em 25/06/2019.

Colturato L. F. D. B. **O ESTADO DA ARTE DA TECNOLOGIA DE METANIZAÇÃO SECA / PROBIOGÁS**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015.

Vasconcellos, L. E. M. et al. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Dados de Uso - Classe Residencial Região Sul**. PROCEL, setembro 2007.

ILHA, M. S. O. **SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA QUENTE**. TEXTO TÉCNICO- ESCOLA DE TECNOLOGIA DA USP. EDUSP, 1994.

CREDE, H. **INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS**. 6.ED. Rio de Janeiro: LTC, 2006

EPA. **CATALOG FOR CHP TECHNOLOGIES**, 2017

HORLOCK, J.A. **COGENERATION: COMBINED HEAT AND POWER**, Krieger, 1997

EPE. **PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2027** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2018

Weaver, E. R. **Formulas and Graphs for Representing the Interchangeability of Fuel Gases**. Journal of Research of the National Bureau of Standards. Vol. 46, No.3- March 1951.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004

VIANA, T. S. **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil**. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2010.

ARAÚJO, A. J. N.; BUENO, T. B. A.; RANK, N. I. **Loss Factors Analysis in Photovoltaic Systems Connected to the Grid in Curitiba**. 85 p., Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético Nacional 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 10 ago, 2019.

CASTELHANO, F. J.; ROSEGHINI, W. F. F. **Caracterização da dinâmica dos ventos em Curitiba-PR**. Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 22, n. 1, p. 227-240, mês. 2018. ISSN 2179-0892. Disponível em: doi: <<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2018.123088>>. Acesso em: 14 set, 2019.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Estações E Dados, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal>>. Acesso em: 14 de set 2018.

TONIN, Fabianna Stumpf. **Caracterização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, na cidade de Curitiba**. 2017. 130 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4ed. Jonh Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.2013.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

YANG, L.R.; TIEPOLO, G.M.; TONOVOLLO, E.D. JUNIOR, J.U.; SOUZA, M. B. **Estimação da temperatura em células fotovoltaicas para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. Smart energy Paraná, 2018.

EPE, Serie Estudos da Demanda de energia - Nota Técnica DEA 13/15: Demanda de Energia 2050, Rio de Janeiro, 2016.

ABNT, ABNT NBR 15569:2008 – Sistema de aquecimento d'água de água em circuito direto – Projeto e Instalação.

MOREIRA, J. R. S. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 1 ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2017.

CRUZ, T.; SCHAEFFER, R.; LUCENA, A. F.P.; MELO, S.; DUTRA, R. **Solar water heating technical-economic potential in the household sector in Brazil**. Renewable Energy 146 (2020) p.1618-1639. Elsevier, 2019.

<https://goo.gl/maps/zjtBGgzcetJMY4oT6>

Atlas Solarimétrico do Estado do Paraná 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_PR_2017.html#>. Acesso em: 19 jul, 2019.

<https://www.ecoprog.com/publications/energy-management/waste-to-energy.htm>, acesso em março 2018

https://en.wikipedia.org/wiki/Waste-to-energy#Global_developments, acesso em março 2018

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>, acesso em março 2018

www.aneel.gov.br/, acesso em março 2018

Leary J., Schaube P., Clementi L. **Rural electrification with household wind systems in remote high wind regions**. Energy for Sustainable Development, p. 154-175, 2019.

Lopez-Gonzalez L. M. , Lopez-Ochoa L. M., Las-Heras-Casas J., García-Lozano C. **Energy performance certificates as tools for energy planning in the residential sector. The case of La Rioja (Spain)**.. Journal of Cleaner Production, p. 1280-1292, 2016.

Albatayneh A. Alterman D. Page A. Moghtaderi B. **Renewable Energy Systems to Enhance Building Thermal Performance and Decrease Construction Costos**. Energy Procedia, p. 312-317, 2018.

Becerra M., Morán J., Jerez A., Cepeda F., Valenzuela M. **Wind energy potential in Chile: Assessment of a small scale wind farm for residential clients**. Energy Conversion and Management, p. 71–90, 2017.

Best R. E., Flager F., Lepech M. D. **Modeling and optimization of building mix and energy supply technology for urban districts**. Applied Energy, p. 161–177, 2015.

Evans M., Yu S., Song B., Deng Q., Liu J., Delgado A. **Building energy efficiency in rural China**. Energy Policy, p. 243–251, 2014.

Patinvoh R. J., Taherzadeh M. J. **Challenges of Biogas Implementation in Developing Countries**. Current Opinion in Environmental Science & Health , Journal Pre-proof, 2019.

Wasajjaa H., Lindebooma R. E. F., van Liera J. B., Aravind P. V. **Techno-economic review of biogas cleaning technologies for small scale offgrid solid oxide fuel cell applications**. Fuel Processing Technology, Volume 197, 2020.