

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Arquitetura
Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído e
Patrimônio Sustentável (PACPS)

Alexandre Schultz

ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA PVT EM HABITAÇÕES POPULARES EM
REGIÃO DE ALTA VULNERABILIDADE CLIMÁTICA EM BELO HORIZONTE, MG

Belo Horizonte
2024

Alexandre Schultz

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA PVT EM HABITAÇÕES POPULARES EM
REGIÃO DE ALTA VULNERABILIDADE CLIMÁTICA EM BELO HORIZONTE, MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (PACPS) da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título mestre.

Área de concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Orientadora: Prof^a Dr^a Eleonora Sad de Assis

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Elizabeth Marques Duarte Pereira

Belo Horizonte
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S386a

Schultz, Alexandre.

Análise de viabilidade do sistema PVT em habitações populares em região de alta vulnerabilidade climática em Belo Horizonte, MG [recurso eletrônico] / Alexandre Schultz. - 2024.

1 recurso online (137 p. : il.).

Orientadora: Eleonora Sad de Assis

Coorientadora: Elizabeth Marques Duarte Pereira

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Energia solar - Teses. 2. Habitação popular - Teses. 3. Arquitetura e conservação de energia - Teses. I. Assis, Eleonora Sad de. II. Pereira, Elizabeth Marques Duarte. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. VI. Título.

CDD 621.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

"Análise de viabilidade do sistema PVT em habitações populares em região de alta vulnerabilidade climática em Belo Horizonte"

ALEXANDRE SCHULTZ

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **primeiro de junho de dois mil e vinte e quatro**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais, constituída pelos seguintes professores:

Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis - Orientadora

Escola de Arquitetura/UFMG

Profa. Dra. Elizabeth Marques Duarte Pereira - Coorientadora

Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG

Prof. Dr. Lucas Paglioni Pataro Faria

Centro Universitário Newton Paiva

Prof. Dr. Rafael Silva Brandão

Universidade Federal de São João del-Rei/UFSJ

Belo Horizonte, 1º de julho de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Eleonora Sad de Assis, Professora do Magistério Superior**, em 04/07/2024, às 14:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elizabeth Marques Duarte Pereira, Usuária Externa**, em 04/07/2024, às 14:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Paglioni Pataro Faria, Usuário Externo**, em 04/07/2024, às 20:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Silva Brandão, Usuário Externo**, em 05/07/2024, às 13:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3343213** e o código CRC **F0839BE8**.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001".

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001".

Este trabalho é dedicado a todos aqueles que acreditam no potencial da tecnologia solar na geração de energia, mas sobretudo àqueles os quais essa mesma tecnologia pode trazer os benefícios de sua utilização não poluente, renovável, mas fundamentalmente comunitária.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar a perseverança de avançar com esta pesquisa nestes mais de dois anos de trabalho.

Sou grato pela contribuição fundamental de todos os professores do PACPS pelas disciplinas ofertadas, mas em especial às professoras orientadoras incríveis Eleonora e Beth, sem as quais essa pesquisa não teria saído da ideia. Aos professores Rafael e Lucas, pelas inúmeras contribuições antes, durante e após a banca. E aos professores da Escola Municipal Herbert José de Souza, em especial o coordenador Saint-Clair, que viabilizou o estudo dentro da escola.

Agradeço a minha família que está comigo diariamente, sempre torcendo, apoiando e incentivando: Angelita e Cauã. Também por aqueles um pouco mais longe, lá em Curitiba: meus pais Cecília e José. E toda a tropa: irmãos, sogros...

Aos colegas de mestrado, que compartilharam seus conhecimentos, ideias e entretenimento durante o curso. E aos alunos da disciplina TAU117 - Oficina Temática de Eficiência Energética e Fontes Renováveis de Energia, que me auxiliaram neste trabalho e foram a minha primeira turma no estágio docente.

“Longe das massas populares, em interação apenas com seus livros, o intelectual corre o risco de ganhar uma racionalidade desencarnada, uma compreensão do mundo sem carne”.
(FREIRE; FAUNDEZ, 1998).

RESUMO

É notória a quantidade de pesquisas e estudos que indicam o esgotamento dos recursos naturais, mas sobretudo o conteúdo desses documentos, que relacionam o crescimento desordenado das cidades aos problemas sociais, sobretudo nas grandes metrópoles, com impactos de uma urbanização que não leva em consideração fatores ambientais. O reflexo acontece na qualidade de vida das pessoas, na mobilidade urbana, na habitação e na produção e consumo energético. Há uma clara necessidade de fontes mais limpas de energia e, portanto, são oportunos os estudos de viabilidade de uso da energia renovável na habitação social e energeticamente sustentável.

As tecnologias solares, com o sistema fotovoltaico (SFV), o aquecimento solar térmico (SAST), e até mesmo a utilização de ambos, de forma integrada (PVT – fotovoltaico-térmico), podem ser um dos caminhos a seguir em favor de meios menos impactantes de energia e de favorecimento econômico à população de baixa renda envolvida.

O objetivo geral desta pesquisa foi investigar a possibilidade de uso do tecido urbano para a geração de energia. Mais precisamente, este trabalho apresentou a viabilidade de implantação do PVT em região de vulnerabilidade sócio-econômica e às mudanças climáticas em Belo Horizonte, MG, no bairro Novo Aarão Reis.

A metodologia aplicada foi de levantamento de dados populacionais, tanto pelo IBGE, como pelo Centro de Saúde local, caracterizando a comunidade de baixa renda; aproximação junto à população através de *workshops* e distribuição de questionários, a fim de entender não só o consumo energético das famílias, mas também de identificar as necessidades comunitárias; modelagem computacional do bairro pelo *software QGIS* e simulações paramétricas pelo *Rhinoceros*, *Grasshopper* e *Ladybug*, para verificação da viabilidade do sistema PVT em comparação com o referencial teórico levantado.

De acordo com o consumo de eletricidade das famílias, com o levantamento da incidência da radiação nas coberturas viabilizado pela modelagem, e o tipo do equipamento PVT a ser utilizado, a pesquisa demonstrou que a malha urbana já estabelecida pode gerar mais energia elétrica que sua própria demanda na ordem de 33%. Ou seja, a população que muitas vezes faz uso de “gatos” (termo popular para as PNT – perdas não técnicas) de energia contribuiria com a produção de eletricidade,

gerando segurança e protagonismo de toda a vizinhança em termos energéticos, além da economia financeira. Aliada à confiabilidade de investimento em aplicações financeiras de práticas sustentáveis, a tecnologia em questão evidenciou seu potencial.

Palavras-chave: potencial energético dos sistemas solares; moradias vulneráveis; energia sustentável.

ABSTRACT

It is well known the amount of research and studies indicating the depletion of natural resources, but especially the content of these documents, which link the uncontrolled growth of cities to social problems, especially in large metropolitan areas, with the impacts of urbanization that do not take into account environmental factors. The reflection of this occurs in the quality of life of people, urban mobility, housing, and energy production and consumption. There is a clear need for cleaner energy sources, and therefore, studies on the feasibility of using renewable energy in socially and energetically sustainable housing are timely.

Solar technologies, with the photovoltaic system (SFV), solar thermal heating (SAST), and even the use of both integrated (PVT – photovoltaic-thermal), can be one of the paths to follow towards less impactful energy solutions and economic support for the low-income population involved.

The general objective of this research was to investigate the possibility of using urban fabric for energy generation. More precisely, this study presented the feasibility of implementing PVT in a region of socio-economic vulnerability and climate change impacts in Belo Horizonte, MG, in the neighborhood of Novo Aarão Reis.

The applied methodology involved gathering population data, both from the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics) and the local Health Center, characterizing the low-income community; engaging with the population through workshops and questionnaire distribution, in order to understand not only the energy consumption of families but also to identify community needs; computational modeling of the neighborhood using the QGIS software and parametric simulations through Rhinoceros, Grasshopper, and Ladybug, to assess the feasibility of the PVT system in comparison with the theoretical framework raised.

Based on the electricity consumption of the families, the assessment of radiation incidence on the rooftops made possible by the modeling, and the type of PVT equipment to be used, the research demonstrated that the already established urban fabric can generate more electricity than its own demand, by around 33%. That is, the population, which often resorts to "energy theft" (a popular term for Non-Technical Losses - NTL), could contribute to electricity production, generating security and

energy leadership for the entire neighborhood, in addition to financial savings. Coupled with the reliability of investment in sustainable financial practices, the technology in question highlighted its potential.

Keywords: energy potential of solar systems; vulnerable housing; sustainable energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1 – Esquema básico de funcionamento do sistema fotovoltaico em uma residência

Figura 2 – Exemplos de módulos solares fotovoltaicos

Figura 3 – Capacidade instalada no Sistema Fotovoltaico em 2019

Figura 4 – *Payback* Médio por Estado para consumidor residencial com GD

Figura 5 – Resultado dos valores das contas de Março 2016 e 2017 para projeto piloto no Estado de São Paulo

Figura 6 – Esquema de instalação do Sistema de Aquecimento Solar

Figura 7 – Coletores solares do Projeto Sapucaias, em Contagem/MG

Figuras 8 – Coletor Solar Térmico; Módulos Fotovoltaicos; e Sistema PVT

Figuras 9 – Vista em perspectiva de um sistema PVT

Figura 10 – 85 cidades analisadas no estudo de Penaka

Figura 11 – Média anual da produção térmica dos coletores (kWh) no estudo de Penaka

Figura 12 – Média anual da produção elétrica dos coletores (kWh) no estudo de Penaka

Figura 13 – Período de *payback* (em anos) no estudo de Penaka

Figura 14 – Bairro Novo Aarão Reis no contexto de Belo Horizonte; Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas em BH em 2016; Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas em BH em 2030

Figura 15 – Variação dos Índices de Sustentabilidade X Ibovespa

Figura 16 – Seleção da opção “População residente”, com o recorte para a cidade de Belo Horizonte

Figura 17 – Seleção da opção “Quantidade de domicílios”, com o recorte para o Setor Censitário Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte

Figura 18 – Seleção da opção “Média de moradores por domicílios”, com o recorte para o Setor Censitário Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte. O bairro foi separado em 12 setores

Figura 19 – Seleção da opção “Estab. de ensino”, com o recorte para o Setor

Censitário Novo Aarão Reis. A EMHJS encontra-se no meio do bairro

Figura 20 – Imagem do QGIS com sobreposição do shapefile sobre o bairro Novo Aarão Reis

Figura 21 – Camadas criadas sobre o bairro Novo Aarão Reis

Figura 22 – Etiquetas ID_EDIF sobre as edificações ao redor da EMHJS do Novo Aarão Reis

Figura 23 – Edificação de ID 2045944 e as divisões por “águas”

Figuras 24 – Edificação de ID 2045944 vista pelo *Google Maps*

Figura 25 – Divisão em “águas” e inclinação da edificação 2049945

Figura 26 – Áreas de análise: Pontos amarelos indicam o limite de estudo no bairro

Figura 27 – Áreas de análise: Recorte do Novo Aarão Reis

Figura 28 – Recorte planilha Excel para análise de águas

Figura 29 – Arquivo da área piloto do Bairro Novo Aarão Reis na plataforma *Speckle*

Figura 30 – Arquivo da área piloto do Bairro Novo Aarão Reis na plataforma *Speckle*

Figura 31 – Modelagem dos edifícios no *Grasshopper*

Figura 32 – Modelagem dos edifícios no *Grasshopper*

Figura 33 – Modelagem das coberturas no *Grasshopper*

Figura 34 – Modelagem das residências de parte do Novo Aarão Reis, no *Grasshopper*

Figura 35 – Algoritmo para análise de incidência de radiação utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*

Figura 36 – Algoritmo para análise de dados climáticos utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*

Figura 37 – Algoritmo para período de análise utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*

Figura 38 – Algoritmo para incidência de radiação utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*

Figura 39 – Incidência de radiação utilizando *Rhinoceros*, a partir dos dados do *Grasshopper*

Figura 40 – Dados de radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*, para escolha da data de solstício de verão.

Figura 41 – Dados de radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*, para escolha da data de solstício de inverno.

Figura 42 – Dados de radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*, para escolha da data de equinócio de primavera.

Figura 43 – Dados de radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*,

para escolha da data de equinócio de outono.

Figura 44 – Tipos de coberturas das habitações do Novo Aarão Reis, conforme estudo de alunos de Arquitetura da UFMG

Figura 45 – Dados Comparativo da incidência de radiação às 9h no bairro Novo Aarão Reis, em 20/09, 23/12, 21/03 e 21/06.

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 – Características específicas dos coletores PVT's

Tabela 2 – Consumo estimado de energia elétrica por usos finais, classes D/E, na região Sudeste

Tabela 3 – Informações populacionais do Novo Aarão Reis conforme disponibilizadas pelo Censo 2022

Tabela 4 – Informações populacionais do Novo Aarão Reis conforme disponibilizadas pela ASTIS

Tabela 5 – Dados gerais para o bairro Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte/MG de acordo com estudos realizados, e de consumo energético para região Sudeste e Belo Horizonte/MG

Tabela 6 – Quantitativos das orientações das coberturas no entorno da EMHJS

Tabela 7 – Questão 1 – Qual a quantidade de moradores na residência, por idade?

Tabela 8– Questão 2 – Qual a renda familiar em salários mínimos?

Tabela 9 – Questão 3 – Há quanto tempo a família mora no domicílio?

Tabela 10 – Questão 4 – Condição de ocupação da moradia.

Tabela 11 – Questão 5 – Qual o tempo aproximado de construção do imóvel?

Tabela 12 – Questão 6 – Existe alguma atividade de renda que é realizada na moradia?

Tabela 13 – Questão 7 – Qual o tipo de cobertura da moradia?

Tabela 14 – Questão 8 – Quais eletrodomésticos a família possui e qual o tempo de utilização?

Tabela 15 – Questão 9 – Com relação à geladeira, qual a idade aproximada do eletrodoméstico?

Tabela 16 – Questão 10 – Sobre os banhos, informar a temperatura da água de acordo com as estações do ano.

Tabela 17 – Questão 12 – Quantidade e tempo de banho durante dias de semanas

Tabela 18 – Questão 12 – Quantidade e tempo de banho durante finais de semanas

Tabela 19 – Questão 13 – Qual a quantidade de lâmpadas acesas em cada ambiente e durante quanto tempo do dia

Tabela 20– Questão 14 – A moradia possui caixa d'água?

Tabela 21 – Valor em kWh/m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 23 de Dezembro

Tabela 22 – Valor em kWh/m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 21 de Março

Tabela 23 – Valor em kWh/m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 21 de Junho

Tabela 24 – Valor em kWh/m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 20 de Setembro

Tabela 25 – Valores de eficiência de PVT de acordo com a variação da Irradiância

Tabela 26 – Produção de energia por residência

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1 – Questão 1 – Qual a quantidade de moradores na residência, por idade?

Gráfico 2 – Questão 2 – Qual a renda familiar em salários mínimos?

Gráfico 3 – Questão 3 – Há quanto tempo a família mora no domicílio?

Gráfico 4 – Questão 4 – Condição de ocupação da moradia.

Gráfico 5 – Questão 5 – Qual o tempo aproximado de construção do imóvel?

Gráfico 6 – Questão 7 – Qual o tipo de cobertura da moradia?

Gráfico 7 – Questão 8 – Quais eletrodomésticos a família possui e qual o tempo de utilização?

Gráfico 8 – Questão 9 – Com relação à geladeira, qual a idade aproximada do eletrodoméstico?

Gráfico 9 – Questão 12 – Quantidade e tempo de banho durante dias de semanas

Gráfico 10 – Questão 12 – Quantidade e tempo de banho durante finais de semanas

Gráfico 11 – Questão 12 – Comparativo da quantidade e tempo de banho a semana

Gráfico 12 – Irradiância X Eficiência Global conforme 1ª Lei da Termodinâmica

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APO – Avaliação Pós-Ocupação

ASTIS – Assessoria de Tecnologia da Informação em Saúde da Prefeitura de Belo Horizonte

BNH – Banco Nacional de Habitação

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

EJA – Educação de Jovens e Adultos

EMHJS – Escola Municipal Herbert José de Souza

EPW – *EnergyPlus Weather File*. Formato de arquivo climático do *software EnergyPlus*

ESG – Sigla em inglês para Environmental (meio ambiente), Social (social), e Governance (governança).

FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

GEE – Gases de Efeito Estufa

GEPEN – Grupo de Estudo e Pesquisa em Energia

GHI – Irradiância Global Horizontal

HIS – Habitações de Interesse Social

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBOVESPA – Índice da Bolsa de Valores de São Paulo

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPUC – Instituto Politécnico da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

ISE – Índice de Sustentabilidade Empresarial

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PACPS – Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

PEE – Programa de Eficiência Energética

PNT – Perdas Não-Técnicas

PVT – Sistema Fotovoltaico-Térmico, (do inglês, PhotoVoltaic-Thermal System)

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SAST – Sistema de Aquecimento Solar Térmico

SFV – Sistema Fotovoltaico

SIG – Sistema de Informação Geográfica

T&D – Transmissão e Distribuição

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
1.1	Objetivos e justificativa.....	28
2	REFERENCIAL TEÓRICO / REVISÃO DE LITERATURA.....	31
2.1	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFV)	32
2.1.1	Instalação Elétrica.....	34
2.1.2	Módulo Solar Fotovoltaico	35
2.1.3	Conexão Elétrica	37
2.1.4	Sistema Fotovoltaico No Mundo	37
2.1.5	Legislações Pertinentes: Regulamentações Aneel e a Lei 14.300/2022....	39
2.1.6	Vantagens do SFV.....	41
2.1.7	Exemplos de aplicação do sistema em São Paulo e Bahia.....	42
2.2	Sistema de Aquecimento Solar Térmico (SAST)	46
2.2.1	<i>Payback</i> do SAST.....	49
2.2.2	Exemplo de aplicação da energia solar no Brasil em habitações populares: O caso do Projeto Sapucaias, em Contagem/MG.....	49
2.2.2.1	Contagem +5 e +10:	51
2.3	Sistema Fotovoltaico-Térmico (PVT).....	52
2.3.1	Estudo de mapeamento digital do desempenho tecnoeconômico do sistema PVT para edifícios em grandes cidades.....	54
2.3.2	Sistema PVT: A experiência do Centro Universitário UNA, com ensaios pelo Green PUC Minas.....	58
2.3.2.1	Resultados dos testes	59
2.4	Situação de vulnerabilidade das HIS (habitações de interesse social).....	60
2.5	Estudo de caso: Residências do entorno da EMHJS	62

2.5.1	Levantamento e análise de dados de consumo de energia em escola pública municipal para <i>retrofitting</i>	63
2.6	Dificuldade institucional da política ambiental no Brasil.....	64
2.7	Análise financeira.....	65
3	METODOLOGIA.....	69
3.1	Levantamento de dados populacionais.....	71
3.1.1	Dados populacionais conforme IBGE (Censo 2022).....	71
3.1.2	Dados populacionais conforme Centro de Saúde local.....	74
3.2	Consumo energético (kWh.mês) de habitações classe D e E.....	75
3.3	Levantamento dos tipos das coberturas das moradias do bairro	76
3.4	<i>Workshops</i> na EMHJS.....	76
3.5	Questionários para os moradores do bairro	77
3.6	Modelagem computacional	78
3.6.1	Configuração de <i>QGIS</i>	80
3.6.2	Planilha <i>Excel</i>	85
3.6.3	Modelagem <i>Rhinoceros</i>	86
3.7	Análise da simulação computacional.....	91
3.7.1	Períodos de análise climática.....	94
3.8	Cruzamento de dados	97
4	RESULTADOS	99
4.1	Dados populacionais conforme IBGE (Censo 2022).....	99
4.2	Dados populacionais conforme ASTIS - Assessoria de Tecnologia da Informação em Saúde da Prefeitura de Belo Horizonte.....	100
4.3	Consumo energético (kWh.mês) das habitações conforme a literatura ..	101
4.4	Levantamento das condições das coberturas das moradias do Novo Aarão	

Reis	102
4.5 Tabulação do questionário respondido pelos moradores do Novo Aarão Reis	104
4.5.1 Considerações ao questionário	118
4.6 Análise da simulação computacional – Incidência de radiação horária..	119
4.6.1 Eficiência do PVT em função da Irradiância.....	123
5 CONCLUSÃO.....	128
REFERÊNCIAS	132
ANEXO A.....	137
APÊNDICE.....	139

1 INTRODUÇÃO

A utilização de fontes menos impactantes ao meio ambiente se faz necessária no momento em que várias pesquisas indicam o esgotamento dos recursos naturais, como o hídrico. Como se poderá perceber, as tecnologias solares podem ser um dos caminhos a seguir, favorecendo o emprego de uma fonte inesgotável de energia.

Os diversos problemas sociais existentes, sobretudo nas grandes metrópoles, e o esgotamento dos recursos naturais tornam oportunos os estudos de viabilidade de uso da energia solar na habitação social viável e energeticamente sustentável. A incorporação de medidas que busquem a eficiência energética elétrica e do uso da água em habitações, sobretudo de interesse social, pode acarretar economias dos investimentos como um todo. Essas medidas, inclusive, apresentam ganhos e economias para os moradores, que além de gerar externalidades positivas para a sociedade em geral, como a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), impacta na economia de recursos naturais.

Assim, este trabalho iniciou-se demonstrando alguns problemas com os quais nos deparamos: crescimento desordenado das cidades e a necessidade da utilização de fontes mais limpas de energia.

Em 2009 o número de pessoas que viviam em cidades passou a corresponder à metade da população mundial (Barbiero, 2014). Atualmente esse número é maior, sendo que na América Latina – o continente mais urbanizado do mundo – a população urbana chega a 82%; no Brasil 84% (Fajersztajn *et al.*, 2016).

Com o Censo 2022 (divulgado em 28/06/2023 e atualizado em 21/03/2024) foi possível analisar com confiabilidade a população urbana atual do Brasil. Segundo o IBGE (2023), em 2022 havia 124,1 milhões de pessoas vivendo em concentrações urbanas, que são arranjos populacionais ou municípios isolados com mais de 100 mil habitantes, o que representa 61% da população, do seu total de 203.062.512 pessoas. O Sudeste foi a região mais habitada, com 84,8 milhões de pessoas (41,8% dos indivíduos do país). Os arranjos populacionais são formados por municípios com forte integração, geralmente conurbados. Belo Horizonte é um exemplo dessa concentração, com 23 municípios.

Estudos anteriores indicavam que para o ano de 2030 a população que habitará os centros das cidades do Brasil chegará a 88%, sendo que na região Sudeste, a mais urbanizada das regiões brasileiras, este índice poderá alcançar 94,9% (Brasil, 2007).

Esta porcentagem torna-se alarmante quando o mesmo estudo expõe que 1/6 dos habitantes estarão morando em favelas. O crescimento desordenado, muito comum nos países em desenvolvimento, é particularmente notável no Brasil. Segundo Vilela *et al.* (2018, p.2268),

A morfologia das cidades é dada pela aplicação de regulamentos de uso e ocupação do solo que, de forma geral, setorizam a cidade em permissividade, pouco levando-se em consideração as variáveis ambientais (ventilação e insolação naturais). Na concepção dos projetos, pouca atenção é dada aos benefícios de uma orientação solar adequada, de diretrizes bioclimáticas e de ganhos energéticos nos edifícios e no tecido urbano. Muito se deve à força do mercado imobiliário que exerce pressão em mudanças de uso e ocupação do solo.

É perceptível, portanto, o impacto da urbanização que não leva em consideração fatores ambientais não apenas nas cidades, mas também no meio ambiente como um todo. Isso se reflete na qualidade de vida, mobilidade urbana, habitação e na produção e consumo de energia.

A preocupação com o esgotamento dos recursos naturais aliado ao aumento do preço de combustíveis fósseis contribui para a busca por formas alternativas de produção de energia e tecnologias que agredem menos o meio ambiente, ou seja, é fundamental a diversificação da matriz energética, tornando-a mais sustentável.

Nos últimos anos, no Brasil, a falta de chuva por longos períodos e a falta de investimento no setor de energia tem causado impacto na economia das residências que dependem unicamente da energia elétrica para seu funcionamento. Por consequência dessa recessão hídrica, faz-se necessário o acionamento de usinas termelétricas, que são mais caras e poluentes. Se não fossem as tecnologias solares dos próprios consumidores, o custo da crise hídrica ao país teria sido cerca de 48,6% a mais na conta de luz dos brasileiros, segundo Absolar (2022).

São imprescindíveis, portanto, ações que levem em conta os aspectos ambientais. A sustentabilidade está mais presente agora na agenda do governo federal em relação ao passado. Nos diversos acordos e convenções internacionais, os quais o Brasil é signatário, o país assumiu, juntamente a outras nações, a responsabilidade para a construção de cidades mais sustentáveis. O Acordo de Paris (Conferência das Partes – COP 21) e a Agenda 2030, na qual foram definidos os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), são exemplos dos compromissos assumidos pelo Brasil (Caccia *et al.*, 2017).

O Brasil é um país privilegiado em termos de irradiação solar. Além disso, a

tecnologia do sistema solar fotovoltaico está se difundindo no país, graças a redução de preço dos painéis. Assim, investir na eficiência energética das edificações é fundamental para que o Brasil cumpra as metas estabelecidas no Acordo de Paris e nas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), onde o país se comprometeu a alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030 e a atender os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), definidos pela Agenda 2030 das Nações Unidas (Caccia *et al.*, 2017). Os ODS, no total de 17, são um apelo universal da Organização das Nações Unidas (ONU) à ação para acabar com a pobreza, proteger o planeta e assegurar que todas as pessoas tenham paz e prosperidade. Eles podem ser divididos em 4 dimensões principais: Social, Ambiental, Econômico e Institucional, e como veremos no decorrer do trabalho, a viabilidade do sistema investigado pode ocorrer se entendermos que essas dimensões sejam alcançadas em seu conjunto.

As Habitações de Interesse Social (HIS) são aquelas voltadas à população de baixa renda que não tenha acesso à moradia formal ou até mesmo condições de pagar os serviços de construção civil. De acordo com Bonduki (1998), o termo “habitação popular” excede o sentido de produção e financiamento de órgãos estatais destinados à baixa renda, mas inclui a regulamentação estatal da locação habitacional e incorporação, como um problema de Estado, da falta de infra-estrutura urbana gerada pelo loteamento privado.

No caso específico deste trabalho, as moradias consideradas são as existentes em um bairro popular consolidado e não habitações novas construídas para esta faixa socioeconômica e com previsão de instalação de um sistema de conversão solar. O bairro do estudo em questão é o Novo Aarão Reis, na região Norte de Belo Horizonte, local de alta vulnerabilidade às mudanças climáticas (Way Carbon, 2016). Trata-se um bairro de periferia, regularizado da capital mineira. As moradias ali existentes são geralmente autoconstruídas, em lotes menores do que a área típica de lotes da cidade e, portanto, tais bairros atingem grande densidade populacional. A falta de informação, má qualidade das construções, e irregularidades, como a existência de “gatos” na rede elétrica, traz riscos para os moradores e a comunidade como um todo.

Ligações irregulares de energia ocorrem em muitos bairros pobres de cidades latino-americanas, embora 95% dos domicílios na região tenham acesso formal à eletricidade, de acordo com dados da Agência Internacional de Energia (Almeida *et al.*, 2018). As chamadas perdas não técnicas (PNT) no sistema elétrico brasileiro têm

se mantido na faixa dos 15% na última década, onerando os consumidores em cerca de R\$6,6 bilhões ao ano (Valiño, 2020). As PNT englobam fraudes, furtos e erros de medição, sendo as duas primeiras as modalidades principais. No caso mineiro, 63% das ligações irregulares de energia ocorrem na RMBH e se intensificaram com a crise econômica provocada pela pandemia da Covid-19. Poucas fontes científicas analisam as informações, entretanto dados da ANEEL apontam que a pobreza e inadimplência são responsáveis por cerca de um terço dos desvios, sendo que no estado de Minas Gerais estima-se que mais de 100 mil famílias usem ligações clandestinas de energia, 80 mil delas na RMBH, de acordo com o Jornal O Estado de Minas Gerais (2017). Estas famílias ficam mais expostas a acidentes (as ligações irregulares e clandestinas representam a segunda maior causa de mortes com eletricidade no país, depois dos acidentes fatais na construção civil) e aos danos e perda dos aparelhos elétricos provocados pela má qualidade da energia. Contudo, há indícios de que os consumidores mais pobres desejam ser regularizados e ter acesso a certos benefícios, como a segurança da instalação, o desconto na tarifa, o acesso a lâmpadas de baixo consumo e orientações para o uso consciente de energia (Ceratti, 2015).

Para atender a estas famílias a partir de uma perspectiva de segurança energética e acessibilidade econômica, o uso mais sistemático da energia solar como fonte para o aquecimento de água e geração de eletricidade deveria ser considerado. Em 2020, a potência total instalada de fonte solar ultrapassou em 4% a de termelétricas movidas a carvão mineral e nucleares (Absolar, 2020). Mesmo assim, nos últimos anos, a crise hídrica fez com que as termelétricas (baseadas em recursos não-renováveis e com maiores impactos ambientais ao longo de todo o seu ciclo de vida) passassem a ter uma participação maior na geração de eletricidade no Brasil. Os aumentos decorrentes na conta de luz também oneraram mais as famílias na época da Covid-19, em razão do maior tempo em casa ou da redução de renda familiar (Absolar, 2021) e o reflexo se dá até hoje.

O trabalho em tela foi uma ampliação de estudo feito em 2018 por uma equipe da Escola de Arquitetura da UFMG, que realizou um estudo de caso e análise pós-ocupação (APO) junto à Escola Municipal Herbert José de Souza (EMHJS), no bairro Novo Aarão Reis, a fim de levantar dados de consumo energético do edifício. Por meio do levantamento gerado, foi proposto um *retrofitting* (troca dos aparelhos energéticos de maior consumo) capaz de aumentar o nível de eficiência energética através do

entendimento de seus usos (Buchala *et al.*, 2019). A pesquisa atual, agora, se voltou para a comunidade onde a escola está inserida, a fim de verificar o potencial da implantação de uma tecnologia solar conhecido como PVT (*Photovoltaic-Thermal*, do inglês).

Como hipótese, espera-se que a atual investigação indique que o sistema PVT possa oferecer à população local uma economia financeira aliada ao melhor uso dos recursos naturais, atendendo aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – principalmente os ODS 7 (Energias Renováveis) e ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) – e garantindo o aumento da resiliência local da comunidade em termos de acesso e segurança energética. Como veremos mais adiante, o sistema PVT une duas tecnologias solares de forma sinérgica: a fotovoltaica e a de aquecimento solar térmico não apenas justapondo os equipamentos, mas aproveitando o resíduo térmico do fotovoltaico para o aquecimento de água.

1.1 Objetivos e justificativa

Esta pesquisa se propôs a investigar a viabilidade de uso do tecido urbano para a geração de energia. Através de análise do consumo energético de habitações típicas do bairro Novo Aarão Reis e realizando uma simulação computacional / modelagem, pretendeu-se verificar a contribuição não apenas social, mas também energética da instalação do sistema PVT no contexto da comunidade. Dessa forma, verificou-se o potencial de contribuição da instalação da tecnologia solar mista para a melhoria do acesso à energia e economia no custo de vida das famílias locais.

Para atender o objetivo proposto as seguintes etapas foram elencadas:

- Levantar dados sobre o consumo típico de energia elétrica em habitações populares no entorno da Escola Municipal Herbert José de Souza (EMHJS), no bairro Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte/MG. Esse levantamento se deu da seguinte forma: 1) Análise na literatura sobre o consumo energético médio de habitações em bairros populares nos grandes centros urbanos da região Sudeste; 2) Obtenção do perfil populacional através do IBGE e a partir da solicitação de dados específicos no Centro de Saúde Novo Aarão Reis; 3) Distribuição de questionários à população local sobre seus hábitos de consumo de energia elétrica;

- Realizar *Workshops* junto aos professores da EMHJS com o intuito de alinhar conhecimentos de ambas as partes. Essa relação com a escola também permitiu que os resultados da pesquisa fossem repassados aos alunos e, portanto, à comunidade;
- Analisar financeiramente o investimento frente a outros índices existentes no mercado da bolsa de valores;
- Verificar a incidência de radiação solar no meio urbano.

Mesmo não fazendo parte do objetivo final, acredita-se que a divulgação dos resultados obtidos em publicações científicas e ações propostas através de encontro com o corpo docente da EMHJS e lideranças comunitárias assim como a participação em editais públicos (CEMIG e FAPEMIG, por exemplo) com a proposta de implantação de um protótipo em algumas residências locais do sistema PVT para comprovação da performance *in-loco* do equipamento sejam fundamentais para que este trabalho seja bem sucedido.

Levando-se em consideração as questões sociais e ambientais, o estudo pode dar visibilidade à tecnologia, que ainda é muito pouco comercializada (e não creditada) no Brasil, promover a economia de energia elétrica para a população em situação de vulnerabilidade climática, permitindo ao cidadão reduzir seus gastos com as contas de energia, um aumento de qualidade em termos de conforto, diminuindo, ao mesmo tempo, os impactos da geração de energia elétrica para o meio ambiente. Essa ação também possibilitará o aumento da resiliência da comunidade (que se apropriará da tecnologia) no acesso e segurança energética.

Assim, esse trabalho foi estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 2: Referencial Teórico / Revisão de Literatura. O capítulo apresentará as tecnologias solares mencionados na pesquisa: Fotovoltaico (SFV), Aquecimento Solar Térmico (SAST) e Fotovoltaico Térmico (PVT). Esses sistemas relacionados a trabalhos já existentes, como se verá, demonstram a importância de sua aplicação em habitações, principalmente nas de interesse social. Além das tecnologias apontadas, serão apresentadas as leis vigentes sobre a energia solar. Na sequência, será demonstrada a situação de vulnerabilidade das HIS do Novo Aarão Reis traçando paralelo com um estudo de caso na EMHJS. Por fim, serão apresentadas dificuldades da política ambiental no país e uma análise financeira para investimento no setor ESG;

- Capítulo 3: Metodologia. O capítulo demonstrará as etapas para a construção da análise da viabilidade do PVT. Cada uma dessas etapas desde a coleta de dados até a simulação computacional permitirá a compreensão do andamento da pesquisa, que poderá ser replicada em estudos futuros;
- Capítulo 4: Resultados. As implicações de cada etapa da metodologia apresentarão uma leitura do contexto da tecnologia solar aplicada no tecido urbano e, portanto, demonstrando a viabilidade do sistema para a comunidade de estudo;
- Capítulo 5: Conclusão. As considerações finais traçarão o entendimento final sobre a viabilidade de implantação do PVT na comunidade do bairro Novo Aarão Reis. Entende-se que com os resultados positivos a metodologia possa ser aplicada em outros casos semelhantes. Seria um primeiro passo para levar às comunidades de baixa renda a segurança energética, economia de gastos, fonte de rendas e demais externalidades positivas, afinal tais comunidades precisam se apropriar da tecnologia recebida.

2 REFERENCIAL TEÓRICO / REVISÃO DE LITERATURA

O aumento populacional por consequência aumenta a demanda por energia elétrica. Segundo Torres (2012), o mundo tem vivenciado um crescimento populacional e com isso aumentou a demanda por energia elétrica. Ainda, de acordo com a autora, entre as diversas fontes primárias de energia, como por exemplo, o petróleo, gás natural, carvão mineral, urânio, energia hidráulica, solar e eólica, bem como a energia proveniente da biomassa, os combustíveis fósseis (limitados e poluentes) predominam na geração de energia elétrica.

Segundo o Balanço Energético Nacional (Brasil, 2022), a matriz elétrica brasileira conta com 56,8% de geração oriunda de hidrelétricas. Apesar de ser uma fonte renovável, os impactos ambientais e sociais causados na implantação dessas usinas, não são nulos. A mesma pesquisa informa que as fontes solares representam apenas 2,5% da geração de energia elétrica no Brasil. Outras fontes renováveis como a eólica, ou a biomassa, possuem maior expressividade com índices de 10,6% e 8,2%, respectivamente.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Inpe, 2017), apesar do Brasil possuir uma magnitude de radiação solar superior aos países europeus, ainda é uma fonte de energia pouco explorada. Alemanha, França e Espanha, por exemplo, têm projetos de aproveitamento de energia fotovoltaica mais desenvolvidos. Em razão de suas dimensões continentais e posicionamento no globo terrestre, o Brasil possui uma alta irradiação solar, podendo assim ampliar a participação da energia fotovoltaica em sua matriz energética.

Neste contexto, o sistema fotovoltaico torna-se uma tecnologia importante no processo de geração de energia. De acordo com Vilela *et al.* (2018, p.2268),

O acesso tanto à radiação solar e à produção da energia dela advinda, deve ser pensada desde a concepção do projeto (parcelamento do solo e edifício), uma vez que o acesso a essa energia está ligada à forma, orientação e disposição das envoltórias dos edifícios no tecido urbano. Os projetos que viabilizem o melhor aproveitamento e o uso de fontes renováveis de energia, como é o caso da solar, podem minimizar os impactos ambientais e promover a diversificação da matriz energética no Brasil.

Desde 2012, com a Resolução Normativa da ANEEL nº482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia através de fontes renováveis através do sistema de compensação de crédito (Aneel, 2012). Desde a regulamentação da

resolução, já foram implantadas mais de 120 mil unidades consumidoras com micro ou minigeração, e houve redução de 43% do valor dos painéis solares, que possuem vida útil de 25 anos. A fonte solar é a mais utilizada na modalidade, alcançando 98% das conexões (Aneel, 2019).

Mais recentemente a Lei 14.300/2022 instituiu o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Com validade a partir de 7 de Janeiro de 2023, ela substituiu o antigo projeto 5.829/2019. Com isso, a partir de 2023, quem gerar a própria energia deverá pagar pela infraestrutura disponibilizada pela rede distribuidora de energia em períodos em que não há geração simultânea de duas formas de energia, ou seja, energia elétrica e energia fotovoltaica. Pela lei anterior, essa cobrança não acontecia.

A partir das informações mencionadas, é possível notar a relação direta que existe entre as habitações e a demanda energética, mais precisamente a possibilidade de geração de energia no local de consumo em concordância com a infraestrutura instalada. Dessa maneira, com a compreensão destes tópicos é possível integrá-los de modo a verificar o quão possível economicamente é implantar os sistemas solares nas edificações para as populações de baixa renda.

O entendimento do estado da arte deste estudo engloba ao menos dois temas abrangentes, que são: as tecnologias solares (o sistema fotovoltaico conectado à rede – SFV, o sistema de aquecimentos solar térmico – SAST, e o PVT – sistemas fotovoltaicos-térmicos; e as habitações populares, mais especificamente situadas em Belo Horizonte, MG. Assim, esse trabalho segue demonstrando cada um desses sistemas e suas aplicações práticas.

2.1 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFV)

Inicialmente, um sistema que pode trazer benefícios tanto aos usuários, quanto ao sistema elétrico, ao meio ambiente e na sociedade como um todo é o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFV).

A energia fotovoltaica é produzida a partir de luz solar e o processo de conversão é feito por meio das células fotovoltaicas. Segundo Rüther (2004) através do efeito fotovoltaico, células solares convertem diretamente a energia do sol em energia elétrica de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável. Os painéis

fotovoltaicos são formados por um conjunto de células fotovoltaicas que permitem a interconexão a fim de formar arranjos modulares, que em conjunto, podem aumentar a capacidade de geração de energia elétrica.

Desde o surgimento das células solares fotovoltaicas as tecnologias evoluíram até o ponto em que sua utilização se tornou possível em nosso cotidiano, visto que inicialmente eram utilizadas em satélites. Sua aplicação pode ser identificada em locais onde a rede elétrica pública não está presente (sistema remoto ou autônomo) e necessitam de baterias para a acumulação de energia. Outra possibilidade de utilização do sistema fotovoltaico é sua interligação à rede elétrica pública, podendo então se apresentar de forma integrada a uma edificação, ou de forma centralizada, como uma usina central, mais afastada do edifício. A indústria vem produzindo itens capazes de coletar e armazenar a energia solar para a produção de energia fotovoltaica, os quais podem ser utilizados nas envoltórias dos edifícios (Rüther, 2004). Assim, muitas placas solares disponíveis atualmente no mercado podem ser utilizadas como elemento arquitetônico tanto em coberturas, como fachadas e janelas.

Partindo de um conjunto habitacional tradicional, onde vários blocos se conectam em um terreno limitado, nossas edificações não possuem espaços “livres” para a implantação de uma usina fotovoltaica. A implantação de painéis solares na cobertura e fachada, por exemplo, é uma das alternativas que viabilizam a utilização do sistema, portanto. Aliando-se ao menor custo de manutenção, em uma realidade em que muitas vezes os moradores não conseguem dar a devida atenção aos reparos, possuímos um sistema potencialmente eficiente.

Os painéis solares fotovoltaicos possuem versatilidade, podendo ser aplicados de diversas formas no edifício, como em telhados ou em seu envoltório (paredes e janelas). Com vida útil superior a 30 anos e expostos às intempéries, os painéis fotovoltaicos formam um sistema importante de geração de energia elétrica, podendo ser implantados em residências unifamiliares e conjunto residenciais, possibilitando a diversificação energética de forma mais sustentável. No Brasil, quase metade da energia elétrica consumida é utilizada em edificações residenciais, comerciais e públicas, sendo o setor residencial responsável por 23% do total do consumo nacional (Rüther, 2004).

Uma outra característica importante do sistema fotovoltaico é que muitas vezes o pico de consumo coincide com o de geração, como é no caso da utilização de aparelhos condicionadores de ar. Nos momentos de maior incidência solar, onde a

geração de energia é potencializada, o consumo também é maior, pois a demanda de ar-condicionado aumenta. Esse “alívio” no sistema pode auxiliar para que não ocorram sobrecargas de transmissão e distribuição (T&D), diminuindo, inclusive, riscos de *blackouts*.

Para este estudo, foi aplicada a forma integrada ao edifício, uma vez que a mesma possibilita sua implantação em telhados e fachadas, junto ao ponto de consumo. A geração distribuída, caracterizada pela utilização de geradores de pequeno porte de forma integrada ao edifício, é uma alternativa complementar à geração centralizada.

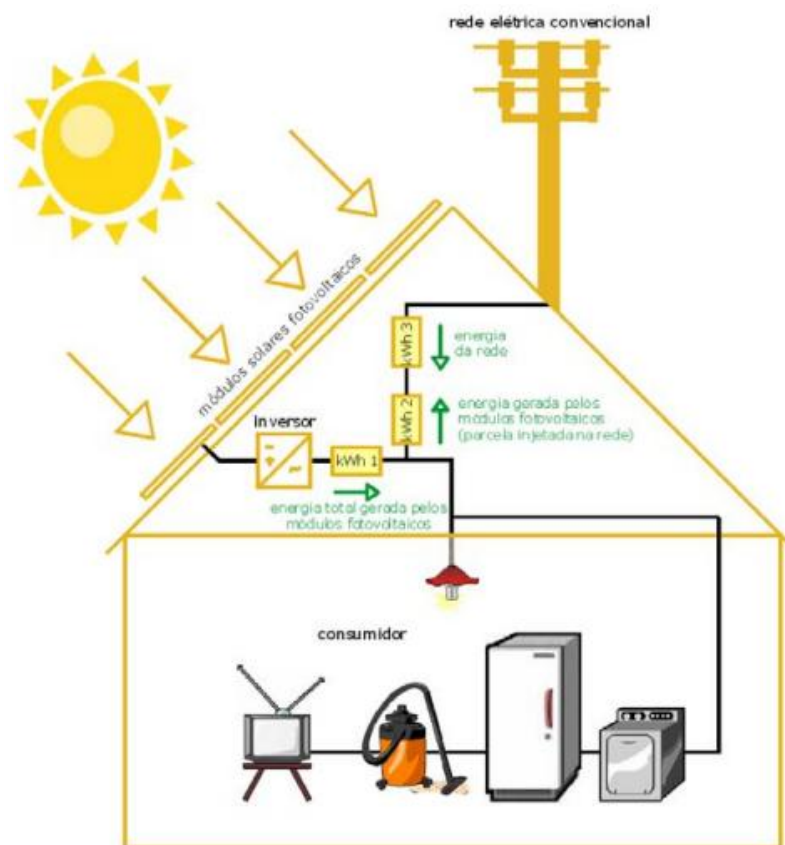
2.1.1 Instalação Elétrica

A instalação do sistema fotovoltaico deve obedecer às mesmas normas técnicas de uma instalação elétrica de baixa tensão, a NBR 5410.

A Figura 1 apresenta um esquema básico do sistema fotovoltaico aplicado em uma residência. O funcionamento ocorre através da captação da energia do Sol pelos módulos fotovoltaicos, sendo a mesma transformada em energia elétrica em corrente contínua. Após passar pelo inversor, onde a energia é transformada em corrente alternada, o circuito é ligado tanto na rede pública, quanto no circuito interno da casa. Dessa maneira, a energia gerada é instantaneamente consumida pela residência, e a energia a mais é ligada à rede externa. Quando não há energia solar suficiente ao consumo, a rede pública fornece a energia elétrica. Ao se injetar a energia excedente na rede da concessionária, são gerados créditos que serão abatidos no total consumido.

Além dos módulos solares de cobertura, a indústria fotovoltaica vem desenvolvendo diversos produtos para a envoltória dos edifícios. Sob a forma de um rolo flexível, módulos fotovoltaicos de aço inoxidável e de vidro sem moldura e até mesmo telhas de vidro são opções no mercado.

Figura 1 Esquema básico de funcionamento do sistema fotovoltaico em uma residência



Fonte: Rütther, 2004.

2.1.2 Módulo Solar Fotovoltaico

O módulo solar fotovoltaico (Figura 2), ou painel fotovoltaico ou ainda placa solar, como é conhecido o seu conjunto, é a base do sistema. De acordo com Rütther, 2004, a quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação. A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou a conexão em série, chamada de *strings*. A potência instalada é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais (Rütther, 2004).

Os módulos solares fotovoltaicos, por sua vez, são formados por células solares fotovoltaicas, sendo esses semicondutores compostos por elementos como o silício cristalino (c-Si), monocristalino (mono-Si), policristalino (poli-Si) e o silício amorfo hidrogenado (a-Si), além de outros tóxicos ou raros, que não de silício. Acrescenta-se, inclusive, que o silício é um dos elementos mais abundantes na superfície do planeta. O conjunto de 36, 60 ou 72 células, em uma configuração composta de películas, vidro, moldura, caixa formam o módulo solar.

Para gerar a corrente elétrica, as partículas de luz provenientes do Sol, chamadas de fótons, atingem as células fotovoltaicas, fazendo com que os elétrons que circundam o átomo se movimentem. O movimento contínuo dos elétrons no condutor é a corrente elétrica. Essa corrente proveniente dos módulos é contínua (CC) e ao passar pelo inversor, também conhecido como conversor CC-CA, torna-se corrente alternada (CA). Essa corrente elétrica faz interface com a rede elétrica e pode ser conectada diretamente nas residências.

Figura 2 Exemplos de módulos solares fotovoltaicos



Fonte: Rütther, 2004.

Além das características intrínsecas dos elementos que compõem o módulo solar, outros parâmetros estão relacionados no sistema a fim de se obter a melhor performance possível. A radiação solar é o principal, assim como a orientação e inclinação dos módulos. Essas duas relacionam-se com as radiações direta, difusa e a fração de albedo (reflexão dos arredores).

Segundo Rütther (2004, p.28),

Como regra geral, a inclinação ótima com relação à horizontal para incidência solar máxima em regime anual é dada pela latitude local. A orientação ideal é a de uma superfície voltada para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte).

Outros parâmetros também influenciam o rendimento do sistema gerador

fotovoltaico, como a temperatura dos painéis, o sombreamento parcial, o descasamento entre placas, resistência dos condutores e a limpeza dos painéis.

2.1.3 Conexão Elétrica

Como mencionado, a energia do Sol é transformada em energia elétrica graças a diversos fenômenos e equipamentos até ser ligada à rede de energia da empresa concessionária e ao quadro elétrico das residências. No Brasil, essa geração distribuída utiliza o modelo conhecido como *net metering*, ou medição líquida. Neste sistema, o medidor é bidirecional, ou seja, o equipamento faz a leitura tanto da energia que chega à residência, como a energia injetada na rede pública. Quando o sistema fotovoltaico gera mais energia do que é consumido, o medidor injeta energia na rede da concessionária e o medidor anda para trás; quando a demanda da unidade consumidora é maior que a fornecida pelo sistema fotovoltaico, utiliza-se a rede pública e o medidor gira no sentido normal.

Como há a necessidade de um medidor bidirecional, a concessionária de energia é responsável pela troca do equipamento nas residências, uma vez que devem homologar os equipamentos, analisar e aprovar os projetos de implementação de sistemas. Como veremos a seguir, a regulamentação do sistema é de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

2.1.4 Sistema Fotovoltaico No Mundo

A utilização do sistema fotovoltaico integrados aos edifícios tem aumentado consideravelmente em diversos países, como na Alemanha (onde é pioneira), Espanha, Japão, Estados Unidos e China. De acordo com Perezagua (2007), a geração de energia elétrica de forma integrada à edificação já é uma realidade havendo expectativa de que no futuro quase todas as edificações tenham sistemas fotovoltaicos integrados, algumas gerando energia equivalente ao próprio consumo. Inclusive, espera-se que os módulos fotovoltaicos estejam disponíveis em uma grande variedade de elementos construtivos, sendo uma opção de material a ser empregada na edificação.

Um dos principais países na indústria de tecnologia fotovoltaica é a Alemanha. No início da década de 1990, o primeiro programa de implantação deste tipo de

sistema, o *1000-Roofs Program* foi lançado pelo governo alemão. Atualmente, o país institui tarifas diferenciadas para a energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos (SFV) integrados no edifício. Com um programa atrativo de investimento, onde as concessionárias de energia alemãs eram obrigadas a comprar toda a energia gerada pelo SFV a uma tarifa 3 vezes maior que a convencional, houve impulsionamento do desenvolvimento da tecnologia (Casa Eficiente, 2010). Por outro lado, esse programa trouxe prejuízos às concessionárias alemãs.

No geral, países com maior potencial de desenvolvimento em energia solar fotovoltaica dispõem de políticas de incentivo à tecnologia. Segundo a IEA (*International Energy Agency*) o uso de energia solar pôde chegar a 30% em 2022 em países com maior capacidade instalada de geração, como China, Alemanha, Japão e Estados Unidos. Com 25,8% da produção global, a China é o país mais capacitado para a geração de energia solar instalada¹. Ainda, por ser a maior fabricante de painéis solares no mundo, a China possui a maior planta de geração solar e também é responsável pelo consumo de metade da produção de placas solares do mundo inteiro.

Segundo o ranking IRENA (*International Renewable Energy Agency*) para “Capacidade Instalada” em “Sistema Solar Fotovoltaico”, de 2019, a ordem dos países é mostrada conforme a Figura 3. A capacidade instalada para cada país é:

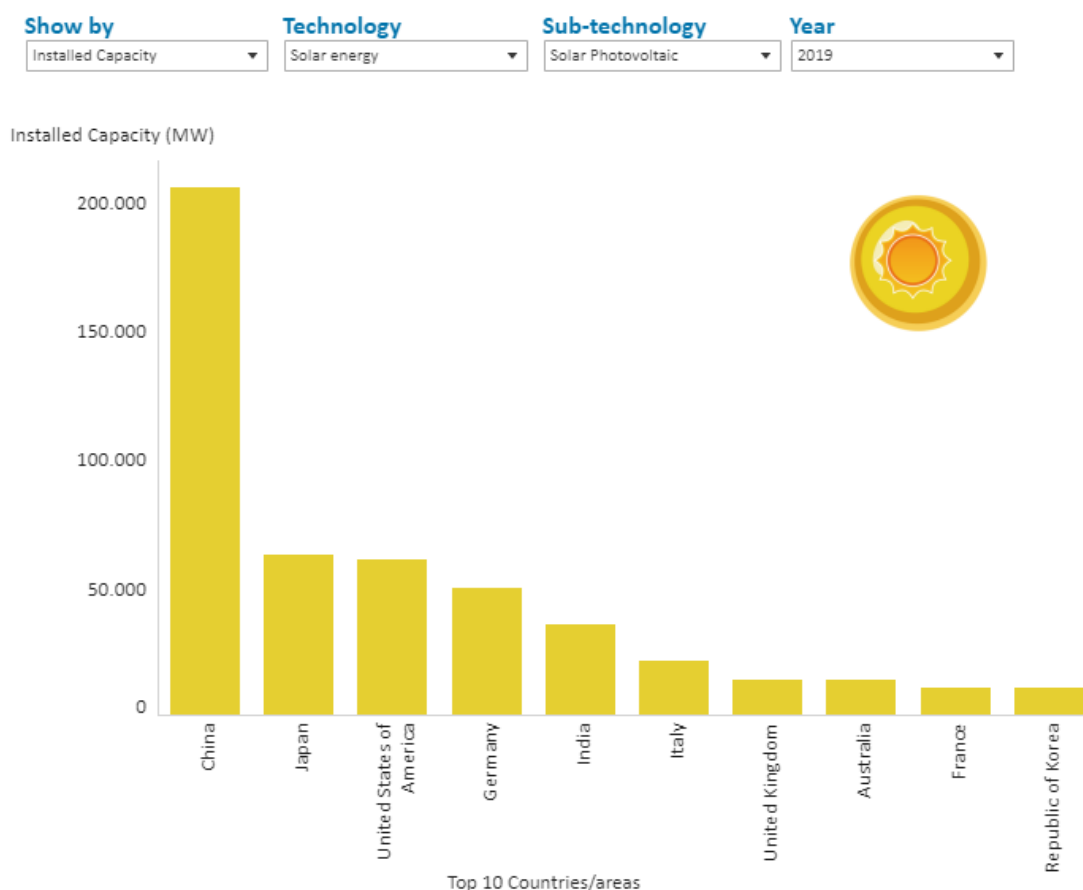
- China: 205.072,165 MW;
- Japão: 61.840,000 MW;
- Estados Unidos: 60.539,900 MW;
- Alemanha: 49.016,000 MW.

Seguindo a ordem, os dez primeiros países completam-se com Índia, Itália, Reino Unido, Austrália, França e Coreia do Sul. O Brasil ocupa a 16ª posição, com capacidade instalada de 4.533 MW. Em 2019 o país adicionou 2.120 MW, sendo 1.470 MW em geração distribuída e 650 MW em geração centralizada. De acordo com a ABSOLAR, o Brasil fechou o ano de 2019 com R\$ 24,1 bilhões em investimentos privados acumulados na fonte solar fotovoltaica. Importante salientar que o Brasil está

¹ Em [https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo#:~:text=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Sistemas%20de%20Energia%20Solar%20no%20Mundo&text=Correspondendo%20a%2025%2C8%25%20da,o%20Meio%20Ambiente%20\(Pnuma\)](https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-mundo#:~:text=Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Sistemas%20de%20Energia%20Solar%20no%20Mundo&text=Correspondendo%20a%2025%2C8%25%20da,o%20Meio%20Ambiente%20(Pnuma).). Acessado em 19/02/2020

no top 10 se forem consideradas outras fontes de energia renováveis, como a hídrica, eólica e a biomassa. Há uma clara evolução nos investimentos que o país faz na tecnologia solar e um campo muito grande a ser explorado. Mesmo assim, a tecnologia de Sistema Fotovoltaico (SFV) ainda tem participação insignificante da matriz elétrica brasileira, correspondendo a pouco mais de 0,0144% (Paula; Nascimento; Silva, 2016).

Figura 3 Capacidade instalada no Sistema Fotovoltaico em 2019. Simulação no site



<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings> em 19/10/2020.

2.1.5 Legislações Pertinentes: Regulamentações Aneel e a Lei 14.300/2022

A ANEEL regulamentou no Brasil em abril de 2012 a geração distribuída através da Resolução Normativa ANEEL nº482/2012. Essa modalidade refere-se aos sistemas de geração de energia elétrica por geradores de pequeno porte, que utilizam

fontes renováveis, como a solar, eólica, biomassa, entre outros. As usinas são classificadas em microgeração (de até 75 kW) e minigeração (entre 75 kW e 1 MW). Ainda, a citada Resolução estabeleceu as condições gerais para a conexão às redes de energia das concessionárias e adotou o sistema de compensação de energia *net metering*.

Após este movimento inicial, a ANEEL revisou a Resolução nº482/2012 e publicou a Resolução Normativa (REN) ANEEL nº687/2015, com validade a partir de março de 2016, que ampliou e/ou aprimorou as modalidades e definições dos consumidores-produtores. Para este estudo, destaca-se a possibilidade de geração distribuída (GD) em condomínios, com utilização de créditos seja para a área comum como ao particular, ou seja, múltiplas unidades consumidoras. Complementa-se neste item a geração compartilhada onde múltiplas unidades consumidoras podem se reunir através de consórcio ou cooperativa, e também o autoconsumo remoto, que é a geração em local distinto ao consumo. Esta última Resolução ainda alterou a potência da minigeração passando para a faixa entre 75 kW a 5 MW; ampliou o prazo de validade de créditos para 60 meses; e reduziu o prazo para a distribuidora conectar as usinas, que era de 82 dias para 34 dias. Em 2017 outra RN foi publicada, a nº786, que novamente mudava as regras da ANEEL.

Nova atualização, prevista inicialmente para 2019, foi realizada por meio da Resolução Normativa nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. Esse Ato promoveu adequações dos regulamentos da ANEEL às disposições da Lei nº 14.300, de 7 de janeiro de 2022, bem como aos estudos promovidos desde 2018, além de consolidar as disposições referentes à MMGD e ao SCEE nas condições gerais de fornecimento de energia (Resolução Normativa nº 1.000/2021).

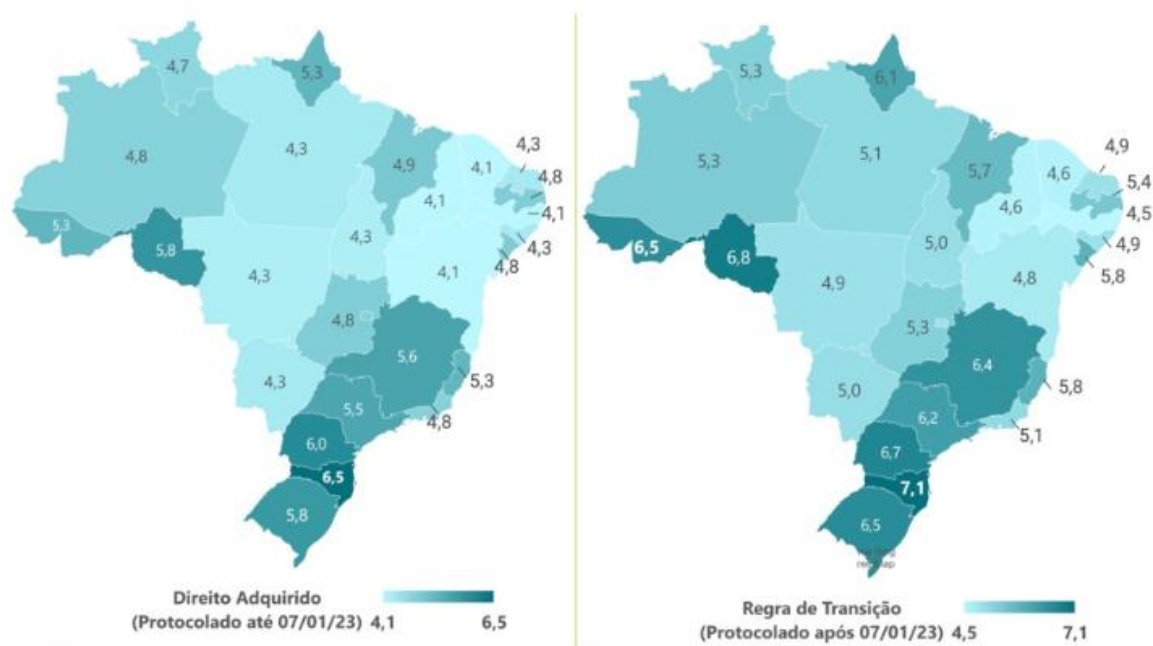
A taxa cobrada a partir de 2023 faz referência ao pagamento do Fio B, que faz parte da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD), que são os serviços que a distribuidora de energia prestam. Nesse caso, o Fio B é o valor que as redes pagam para levar a energia delas até as residências. Segundo o novo marco da energia solar, a taxa é gradativa, conforme o passar dos anos. Em 2023, por exemplo, o valor pago na conta será de 15% do Fio B, até 2024, quando o valor subirá para 30%. Esse valor subirá gradativamente até atingir 100% em 2029, quando ficará sujeito à tarifa estabelecida pela ANEEL.

Ainda assim, segundo o Estudo Estratégico de Geração Distribuída, publicado pela consultoria Greener, o investimento em energia solar fotovoltaica continuará

atrativo mesmo após a Lei, embora o *payback* no Brasil tenha sofrido um aumento de 8 meses, em média. Em Minas Gerais, segundo estado que mais investe em energia solar, ficando atrás apenas de São Paulo, o tempo de retorno do investimento passou de 5,6 anos para 6,4 anos (Figura 4). O cálculo leva em consideração a produtividade local, a tarifa das concessionárias (incluindo o custo de disponibilidade) e outros fatores (Greener, 2023).

Figura 4 *Payback* Médio por Estado para consumidor residencial com GD, segundo a Greener

Payback Médio por Estado (em anos) Residencial (4kWp) – Baixa Tensão



Fonte: Greener, 2023.

2.1.6 Vantagens do SFV

Os sistemas solares fotovoltaicos possuem diversas vantagens não só para o consumidor, que é o público-alvo deste estudo, mas também para o sistema elétrico como um todo. De acordo com Rüther (2004), pode-se destacar:

- Mitigação de perdas por transmissão e distribuição de energia;
- Redução de investimentos em linhas de transmissão e distribuição;

- Não há a necessidade de aumento de área física para implantação do sistema, pois há a possibilidade de utilização dos equipamentos fotovoltaicos tanto na cobertura, como na envoltória do edifício;
- Edifícios solares fotovoltaicos oferecem um alto Fator Efetivo de Capacidade Carga (FECC) a alimentadores da rede com picos diurnos, ou seja, maior geração de energia nos momentos em que há maior consumo, como são os casos de utilização dos equipamentos condicionadores de ar.

Sobre este último ponto, Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), Rütther (2004, p.47), acrescenta:

Alimentadores urbanos de regiões onde predominam consumidores comerciais apresentam os maiores índices de FECC, uma vez que a geração fotovoltaica coincide com o horário comercial e as demandas de ar condicionado e iluminação artificial. Alimentadores urbanos em áreas predominantemente residenciais, por outro lado, apresentam índices FECC menores, uma vez que as maiores demandas residenciais ocorrem no final da tarde e à noite. O crédito de capacidade nestas regiões pode, no entanto, ser melhorado consideravelmente se considerarmos que a energia gerada pode ser utilizada em áreas urbanas de perfil comercial adjacente do sistema de distribuição, já que áreas residenciais com padrão de construção horizontal em regiões ensolaradas apresentam grandes áreas de cobertura apropriadas para a geração fotovoltaica.

Entretanto, no SFV, apenas uma pequena parte da radiação incidente sobre a placa é convertida em eletricidade, cerca de 10% a 20% dependendo do material das células fotovoltaicas. O restante da radiação pode ser refletida ou transformada em calor ocasionando um inevitável aquecimento desse sistema resultando na queda de sua eficiência (LIMA *et al.*, 2016).

2.1.7 Exemplos de aplicação do sistema em São Paulo e Bahia

De forma prática, podemos exemplificar a aplicação do SFV em habitações populares em diferentes locais do Brasil, como nos estados de São Paulo e Bahia. Em comum entre eles, pode-se citar não apenas os benefícios econômicos e ambientais proporcionados pelo sistema, mas também as ações sociais provenientes do protagonismo das populações envolvidas com os projetos.

O caso de São Paulo, o projeto de implantação do SFV provém da CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo. De acordo com a CDHU (2017), o sistema proposto para tipologias verticais visou suprir

a energia elétrica consumida pelas áreas comuns, corredores, bombas de recalques e elevadores, visando a diminuição no valor do condomínio aos moradores. As placas fotovoltaicas foram instaladas nas coberturas dos edifícios e do Centro de Administração Comunitária, já as áreas comuns tiveram lâmpadas substituídas pelas do tipo LED.

O projeto foi dividido em duas etapas. A primeira etapa, que foi o projeto piloto, previu a implantação do sistema em 23 unidades habitacionais, distribuídas nas cidades de São José do Rio Preto, contando com 14 HIS, Catanduva, com 8 HIS, Botucatu com 4HIS e por fim a cidade de São José dos Campos 3 HIS. A segunda etapa consistiu na implementação, após o período de avaliação da primeira etapa, do sistema em 51 mil unidades habitacionais no estado de São Paulo. De acordo com o cronograma, os estudos sobre o SFV até o monitoramento do projeto piloto aconteceram entre o início de 2016 até a metade de 2018. A implantação da 2ª etapa aconteceu entre o início de 2018 até a metade de 2019.

Para a viabilização do projeto, uma das estratégias utilizadas se deu a partir da Lei Federal nº9.991/2000, que estabeleceu as diretrizes para a elaboração do Programa de Eficiência Energética (PEE). Segundo a legislação, as concessionárias e as permissionárias devem aplicar, no mínimo, 0,5% de sua receita operacional líquida para combater o desperdício de energia elétrica. Dessa forma a CDHU utilizou a porcentagem dos PEE's das concessionárias para financiar a implantação do projeto.

De acordo com a companhia, o valor estimado para investimento foi em torno de R\$183.560.000,00, sendo quase a totalidade (180 milhões de reais) em casas isoladas e pouco mais de 3 milhões em tipologias verticais.

Para o projeto piloto 01, de 14 unidades habitacionais, foram instalados em cada residência 4 módulos fotovoltaicos e 2 micro inversores. Os resultados obtidos para 9 unidades habitacionais são mostrados na Figura 5.

Figura 5 Resultado dos valores das contas de Março 2016 e 2017.

	Valor Conta mar/16	Valor Conta mar/17	Economia	% Redução	Valor a pagar mar/17	OBS
1	R\$ 92,08	R\$ 12,55	R\$ 79,53	86%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
2	R\$ 117,62	R\$ 57,10	R\$ 60,52	51%	R\$ 123,05	soma mês anterior
3	R\$ 42,94	R\$ 18,33	R\$ 24,61	57%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
4	R\$ 100,93	R\$ 29,91	R\$ 71,02	70%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
5	R\$ 77,83	R\$ 27,10	R\$ 50,73	65%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
6	R\$ 75,90	R\$ 23,81	R\$ 52,09	69%	****	a ser cobrado nos meses seguintes
7	R\$ 139,82	R\$ 87,42	R\$ 52,40	37%	R\$ 90,52	juros e multas mês anterior
8	R\$ 98,24	R\$ 14,30	R\$ 83,94	85%	R\$ 58,67	soma meses anterior
9	R\$ 157,48	R\$ 93,13	R\$ 64,35	41%	R\$ 97,61	Correção multa e juros jan/2017
SOMA DO VALOR ECONOMIZADO			R\$ 539,19	63%	Redução média se comparado a MAR/16	

Fonte: CDHU, 2017

Percebe-se a redução no valor médio das contas das unidades habitacionais do projeto piloto Pontes Gestal de 63%. Foi verificado, inclusive, que a adoção de 4 módulos fotovoltaicos gerou muito mais energia que o consumo, sendo, portanto, a configuração de 2 módulos fotovoltaicos mais indicado para o padrão de consumo dos mutuários CDHU.

Para o caso da Bahia, um estudo (Melo, *et al.*, 2018) avaliou unidades habitacionais do PMCMV, além da contribuição para o cenário energético nacional, assim como os impactos sociais decorrentes direta e indiretamente da instalação deste tipo de empreendimento em zonas habitacionais características de baixa renda. A partir da análise, propôs-se validar um modelo de negócio dos pontos de vista técnico-econômico e social.

O projeto piloto de geração de renda e energia selecionou os condomínios Praia do Rodeadouro e Morada do Salitre, em Juazeiro/BA. O projeto foi aprovado pela ANEEL no dia 22 de outubro de 2012, prevendo a instalação de 9.144 módulos solares, de 230 kWp cada, sobre o telhado de aproximadamente 1.000 unidades habitacionais, totalizando cerca de 2.103 kWp de geração. O projeto foi executado pela empresa Brasil Solair Energias Renováveis Comércio e Indústria S/A, que celebrou convênio com o Fundo Socioambiental da Caixa Econômica Federal. A parceria investiu R\$ 7.291.294,19 dos quais R\$ 6,2 milhões foram financiados pela empresa estatal. De acordo com os autores, a escolha do local foi devido ao potencial

solar e à baixa renda familiar da região, localizada em uma área de extrema pobreza do país. O objetivo principal foi a implantação de geração de renda baseada na energia elétrica renovável, a partir da instalação de microgeração distribuída solar, beneficiando 1.000 famílias com renda na faixa de 0 a 3 salários mínimos ou de meio salário mínimo per capita.

Fato importante em estudos como o de Juazeiro, e que deve ser aplicado na pesquisa deste trabalho em Belo Horizonte, é a participação comunitária. Conforme Melo *et al.* (2018), a necessidade da implantação de um trabalho social junto aos beneficiários fez com que os responsáveis pelo empreendimento capacitassem as lideranças comunitárias quanto à gestão dos recursos. A divisão da renda obtida a partir da venda da eletricidade gerada foi estabelecida em assembleia e incorporada ao regimento interno dos condomínios. Da receita total gerada mensalmente, 60% eram destinadas aos moradores, 30% para o fundo de investimentos para melhorias e uso comum e 10% para pagamento das despesas de manutenção dos condomínios. Mesmo com os valores envolvidos, o projeto foi desativado por questões legais e regulamentares.

A metodologia adotada foi a realização de uma visita técnica aos condomínios, e teve como objetivos: averiguar *in loco* o *status* atual do projeto, confirmar as informações descritas nos documentos, realizar entrevistas e aplicar questionários aos moradores. A Brasil Solair se responsabilizou pela capacitação e treinamento de mão-de-obra local para trabalhar na manutenção do sistema fotovoltaico, de modo que a instalação foi feita pelos próprios moradores capacitados. Cerca de 60 pessoas participaram desse processo, tornando-se empreendedores individuais ou colaboradores da própria empresa. O treinamento recebeu fundamentos dos sistemas fotovoltaicos, além de noções empresariais e de trabalho em equipe. Atenção especial foi dada à igualdade de gênero, de modo que mais de 60% dos participantes eram do sexo feminino. O projeto possibilitou, além da geração de renda aos moradores, a inserção de alguns deles no mercado de trabalho.

De acordo com Melo *et al.* (2018), para a obtenção dos resultados, os questionários foram aplicados a um total de 100 famílias de ambos os condomínios, o que representa cerca de 10% do total. A aplicação possibilitou conhecimento do perfil e comportamento da população local, não só em relação ao projeto, como também em relação ao próprio nível de desenvolvimento social. Dentre os resultados apresentados, chamam a atenção:

- 1) cerca de 55% das residências possuíam 5 pessoas;
- 2) cerca de 40% dos chefes das famílias entrevistadas estavam desempregados;
- 3) a comunidade se preocupou com questões de interesse comum;
- 4) a pesquisa mostrou que a grande maioria dos moradores não possuía conhecimento sobre a tecnologia fotovoltaica, inclusive, alguns deles acreditavam que a presença dos painéis fotovoltaicos podia ser prejudicial à saúde;
- 5) o número de moradores capacitados com a tecnologia era mínimo, uma vez que dos entrevistados, apenas uma família possuía membros participantes do processo de treinamento, o que representava 1% da amostragem;
- 6) cerca de 25% dos entrevistados estavam insatisfeitos com o projeto, uma vez que a remuneração foi reduzindo de R\$100,00 para R\$10,00, sem que a empresa esclarecesse esses valores;
- 7) 72% dos entrevistados eram favoráveis à reativação do projeto. Este grupo demonstrou de maneira geral, maior consciência comunitária e que apesar do pequeno valor, a renda do projeto era muito importante, visto que existiam famílias vivendo em situação de carência.

Conforme Melo *et al.* (2018), um dos resultados mais importantes do estudo foi a compreensão do envolvimento da comunidade em relação ao projeto e do nível de conhecimento em relação ao sistema fotovoltaico, propriamente dito. Apesar da sua duração temporária, constatou-se que projeto conseguiu promover a organização social das populações envolvidas, potencializando o exercício da cidadania e o cooperativismo. Apesar dos conflitos observados, a maioria considerou que o projeto contribuiu positivamente para a qualidade de vida, tanto do ponto de vista familiar, quanto comunitário. Socialmente, o projeto demonstrou um grande potencial.

2.2 Sistema de Aquecimento Solar Térmico (SAST)

Outro sistema que possui grande potencial é o de aquecimento solar térmico. O equipamento mais popular da tecnologia solar é o coletor solar plano que converte energia solar em energia térmica. O sistema fornece água quente a temperaturas variáveis entre 40°C e 60°C, atendendo basicamente demandas de uso residencial, em cozinhas e banheiros. Na maior parte dos casos, no Brasil, o sistema solar térmico

é utilizado para substituir o chuveiro elétrico (Fraidenraich, 2010). Segundo Fantinelli e Pereira (2012), comprovou-se que as casas com aquecimento solar têm uma economia em torno de 34,6% do gasto energético.

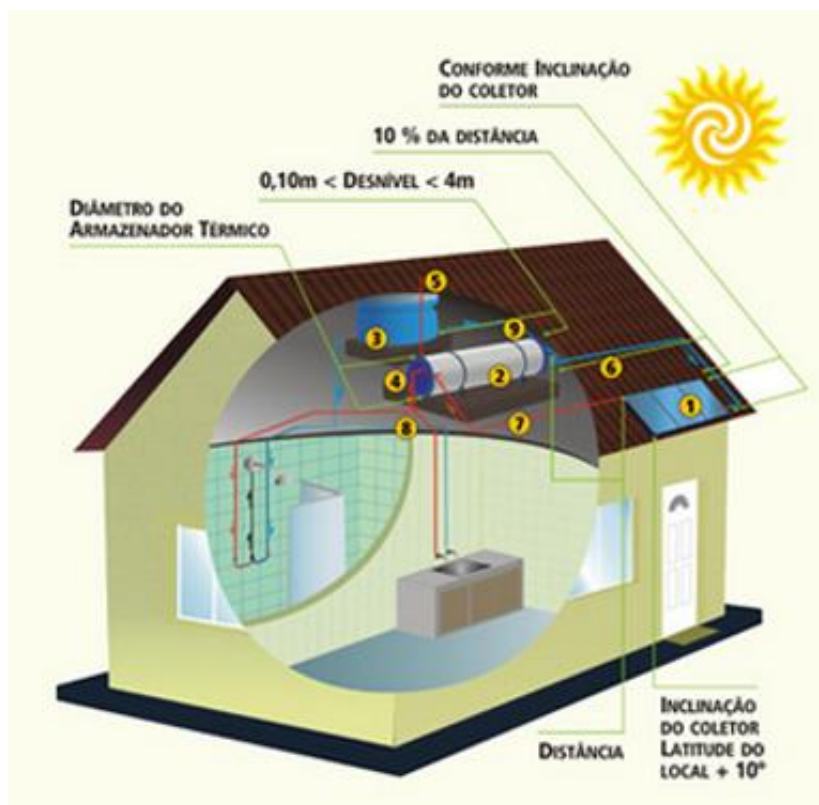
Basicamente, o sistema de aquecimento solar térmico é composto por dois elementos, que são os coletores solares e o reservatório de água quente. Os coletores solares são formados por uma placa de vidro que isola do ambiente externo placas metálicas (cobre ou alumínio, por exemplo) pintadas de negro fosco para que ocorra a maior absorção de radiação solar. Durante a absorção, as placas transmitem o calor para serpentinas, geralmente feitas de cobre. Dentro dos tubos em forma de serpentina circula água, que se torna aquecida e então é conectada ao reservatório, também chamado de boiler. Esse reservatório de formato cilíndrico é feito de alumínio, inox ou polipropileno com isolantes térmicos, para manter a água aquecida pelo maior tempo possível. Uma caixa d'água fria abastece todo o sistema, mantendo o boiler cheio.

É um sistema que funciona por circulação natural, ou seja, termossifão (Roaf, Fuentes E Thomas, 2009). Conforme a água dos coletores é esquentada, ela torna-se menos densa e é “empurrada” pela água fria e chega naturalmente ao boiler, sem bombeamento.

Por isso o reservatório é locado acima das placas coletoras. Em caso onde não seja possível instalar o reservatório acima das placas coletoras, ele pode ser locado abaixo, e será utilizado uma bomba no sistema. Esse tipo de instalação é o mais indicado para casas por causa do baixo custo, boa confiabilidade e pouca manutenção.

Em sua instalação, o direcionamento das placas solares, assim como no sistema fotovoltaico, é voltado à região de maior radiação solar. No hemisfério Sul, direciona-se para o Norte. O ideal é colocá-lo perpendicular à altura solar média do inverno ao meio-dia, ou seja, a latitude do local + 15° (Figura 6).

Figura 6 Esquema de instalação do Sistema de Aquecimento Solar



Fonte: Rüther, 2004.

Na figura, o esquema de instalação do sistema de aquecimento solar de água consta de:

1. Placas solares;
2. Boiler (ou reservatório);
3. Caixa d'água;
4. Apoio elétrico;
5. Suspiro;
6. Abastecimento das placas;
7. Retorno das placas;
8. Água para consumo;
9. Abastecimento de água fria

2.2.1 Payback do SAST

Um monitoramento da energia solar em residências populares do conjunto Sapucaia em Contagem/MG pelo Grupo de Estudos em Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas (Green Solar) demonstrou uma redução efetiva no consumo de energia elétrica. Segundo Pereira (2006), ficou comprovado que as casas com aquecimento solar têm um gasto de 81 kWh.mês contra 155 kWh.mês das aquecidas eletricamente. Uma economia em torno de 44%.

De acordo com o estudo de Schultz (2021), ao compararmos a redução nos valores de consumo com e sem chuveiro de habitações de interesse social no padrão PCVA – Programa Casa Verde e Amarela, a redução é de 39%.

Com base nas informações acima citadas é possível dizer que o sistema de aquecimento solar de água gera uma economia em torno de 30% a 40% no valor da conta de energia e o *payback* é de aproximadamente 5 anos, para 1 UR de família de 4 pessoas numa habitação de interesse social em Belo Horizonte/MG.

2.2.2 Exemplo de aplicação da energia solar no Brasil em habitações populares: O caso do Projeto Sapucaias, em Contagem/MG

Como mencionado, são corriqueiros os casos de utilização dos variados sistemas solares nas habitações populares no país. Muitos empreendimentos voltados às HIS são executados com a previsão tanto do sistema fotovoltaico, como o de aquecimento térmico, ou até ambos. Mesmo assim, são raros os casos em que haja habitações já consolidadas na complexa malha urbana brasileira onde a implantação desses sistemas aconteça, que é o caso desta pesquisa.

Assim, é descrito abaixo um importante caso de aplicação do sistemas térmico no Brasil. É possível verificar que é um exemplo bem-sucedido que indica o potencial da energia proveniente do Sol, principalmente se voltarmos nosso olhar para as populações em vulnerabilidade.

Em 2006 foi realizado um estudo do Projeto Sapucaias, em Contagem, região metropolitana de Belo Horizonte/MG conforme descrito na tese de doutorado de Fantinelli (2006), sobre a análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares. A pesquisa constatou a eficiência energética

alcançada com coletores solares dimensionados para pequenos volumes de água para o consumo no banho e a adaptação das famílias com a tecnologia. O estudo também demonstrou que o retorno financeiro para as populações de baixa renda, pela economia de energia elétrica, se reflete na aquisição de eletrodomésticos e também nas aspirações e desejos que sinalizam novas perspectivas de futuro. O conjunto habitacional do estudo contava à época com 578 moradias e fora implantado em 1999.

Esse núcleo habitacional foi contemplado com a implantação de 100 unidades de coletores termossolares através do Projeto Eletrobrás Solar, desenvolvido pelo GREEN da PUC Minas e MME-Eletrobrás-PROCEL. De acordo com Fantinelli (2006), o projeto constituiu-se na primeira experiência desenvolvida em área urbana e destinada a segmentos de baixa renda, na qual a população envolvida autogeriu suas moradias por regime de mutirão e foi partícipe na instalação dos coletores solares. O objetivo foi o de avaliar os resultados econômicos relativos ao consumo de energia elétrica evitada e o ganho econômico para as famílias. Importante informar que a maioria das casas já estava construída, o que exigiu uma adaptação da equipe técnica responsável.

Na metade do ano de 2000 foi instalado um sistema termossolar no Centro Comunitário local, com intuito além do perfil técnico. Através desse piloto, a tecnologia foi demonstrada à população através de palestras que demonstraram os benefícios econômicos e esclareceram-se de dúvidas. Uma das questões abordadas foi a desmistificação de que a água aquecida pelo Sol provocaria câncer. No final do mesmo ano, todos os sistemas estavam instalados com a participação ativa das famílias selecionadas.

Para a habitação padrão da comunidade, com 49m², a média de ocupantes era de 6 indivíduos por residência. Assim, a definição em projeto estabeleceu uma placa coletora de 2m² e um reservatório de 200L, com funcionamento em termossifão. Conforme demonstrado na Figura 7, dois sistemas foram testados: um deles onde a placa solar ficava inserida na cobertura da casa, enquanto o reservatório era interno à edificação – aplicado em 30 casas; no segundo, placa e reservatório foram inseridos em uma estrutura portante, externamente à casa, com flexibilidade de orientação – implantado em 70 residências.

Figura 7: Coletor tipo 1 (imagem à esquerda e centro); Coletor tipo 2 (à direita)



Fonte: Adaptado de Fantinelli (2006)

Após a instalação, os equipamentos passaram a ser monitorados e avaliados pela equipe GREEN Solar. Duas avaliações ocorreram nos anos seguintes: em 5 e 10 anos após o início da operação.

2.2.2.1 Contagem +5 e +10:

Com 5 anos da implantação do sistema, foi constatado que um grande número de equipamentos havia sido vendido logo após a instalação. 33% dos coletores solares foram comercializados (por valores muito abaixo do real, por falta de conhecimento dos proprietários), com justificativas tais como: desemprego dos habitantes; necessidade de aumento da casa; e problemas no teto solar. Do total de ambos os sistemas de implantação, 43% referem-se ao do tipo de estrutura portante (tipo 2), enquanto 10% do tipo convencional (reservatório interno à casa – tipo 1). Embora mais eficiente, por se tratar de um sistema flexível, o tipo 2 também foi o mais vendido, pela facilidade de manuseio.

A conclusão dessa etapa foi que o desconhecimento das vantagens econômicas tem provocado a sua comercialização por parte das populações de baixa renda (Duarte *et al*, 2021).

Em 2011 foi realizada a segunda avaliação. Do total dos 100 equipamentos implantados em 2001, 54 foram vendidos, sendo 33 nos primeiros 5 anos. Assim, após 10 anos, apenas 46% dos equipamentos instalados estavam em condições de uso, mesmo que os SAS tenham vida útil estimada entre 20 a 30 anos. A alegação dos moradores neste caso foi a de falta de condição de operação dos coletores.

Além da conclusão já apontada no Contagem +5, verifica-se que os problemas de manutenção dos sistemas solares e de acessibilidade às instalações foram recorrentes nas moradias que participaram do projeto. De acordo com Fantinelli e

Pereira (2012), verifica-se a necessidade de programas efetivos de capacitação nos diversos níveis envolvidos, como projeto, execução e manutenção dos equipamentos, além de informações para que as boas práticas no uso da água quente não se percam ao longo do tempo.

Importante notar que o sistema necessita estar integrado fisicamente à residência, não apenas para dificultar uma eventual venda do equipamento em caso de necessidade financeira, mas por uma questão de pertencimento. As vantagens devem ser muito bem esclarecidas aos moradores e percebidas ao longo do tempo, além do fato de que o sistema faz parte de um coletivo, de uma comunidade.

2.3 Sistema Fotovoltaico-Térmico (PVT)

Uma alternativa que reúne ambos os sistemas é o fotovoltaico-térmico (PVT), do inglês *Photovoltaic Thermal Collector*, e se mostra como uma possibilidade bastante interessante, compartilhando das potencialidades de cada uma tecnologias que a produz.

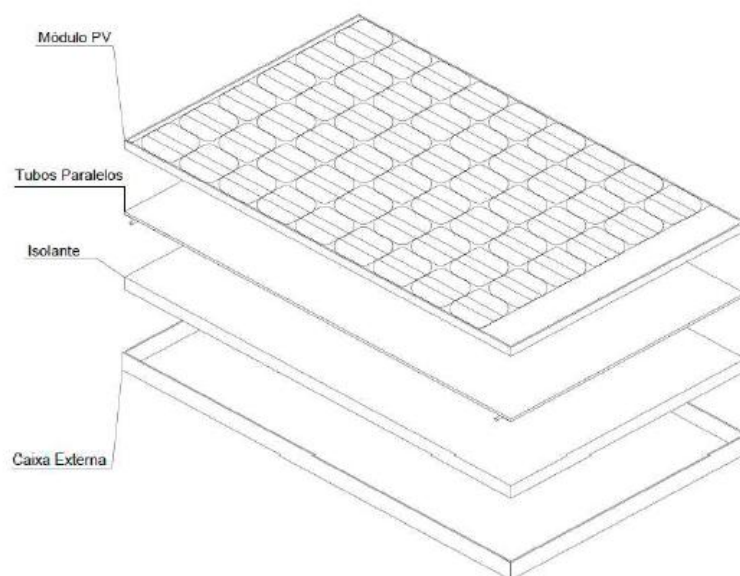
Um sistema PVT (Figuras 8 e 9) é uma combinação de componentes que convertem parte da energia proveniente do Sol em eletricidade, e parte em calor que aquece um fluido de trabalho. O painel fotovoltaico não está apenas produzindo eletricidade, mas também servindo de absorvedor térmico, o que possibilita a geração simultânea de eletricidade e calor (Zondag, 2005).

Figura 8: Coletor Solar Térmico (esquerda); Módulos Fotovoltaicos (centro); e Sistema PVT (direita)



Fonte: Adaptado de Godinho (2019)

Figura 9: Vista em perspectiva de um sistema PVT



Fonte: Godinho (2019)

Conforme aponta Zondag *et.al* (2003), uma área coberta com um sistema PVT pode produzir mais energia elétrica e térmica do que este mesmo espaço coberto parcialmente de sistemas fotovoltaicos e térmicos convencionais, tendo um aproveitamento maior do espaço e sendo extremamente útil em locais onde o espaço é limitado. Magliavacca (2013), por sua vez, afirma que a combinação dos sistemas térmicos e fotovoltaicos promove uma geração combinada de energia, resultando na obtenção de eletricidade e aquecimento de água, o que resulta em maior eficiência de conversão energética na mesma área de captação, minimizando assim a área de instalação. Sistemas PVT provêm uniformidade na arquitetura de fachada do prédio e esteticamente são melhores que se fossem instalados dois diferentes tipos de sistema, sendo um para o fotovoltaico e um para o térmico.

Os primeiros estudos sobre a tecnologia PVT foram documentados no começo da década de 1970, onde pesquisadores apresentaram a ideia do uso de água ou ar como o fluido de resfriamento de painéis fotovoltaicos (Chow, 2010).

O aumento na pesquisa de sistemas PVT a partir dos anos 1990 aparentemente foi uma resposta à deterioração do meio ambiente e o crescente interesse na indústria da construção devido à possibilidade de integração de módulos fotovoltaicos em construções (sistemas também chamados de BiPV, abreviação de *Building Integrated Photovoltaic*). Ainda assim a literatura referente ao sistema PVT é bastante limitada, principalmente se comparada aos dos sistemas que o integram separadamente (fotovoltaico e térmico).

Procópio *et al.* (2016) apontam que aproximadamente 15% da radiação solar incidente em módulos fotovoltaicos poli-cristalinos são convertidos em energia elétrica, enquanto o restante é transformado em calor. Já Palla *et al.* (2014) desenvolveram um modelo matemático para avaliar a eficiência elétrica e térmica do acoplamento de módulos fotovoltaicos e coletores solares planos e encontraram eficiências térmicas da ordem de 50% e 40%, e elétricas entre 9% e 12,1% para PVT com e sem coberturas de vidro, respectivamente.

Importante informar que o PVT ainda não é uma realidade para o Brasil. Há pesquisas, testes e patentes do sistema no país, entretanto não existe a comercialização da tecnologia devido ao seu custo elevado. Acredita-se que com a divulgação do sistema, assim como a ampliação de estudos e pesquisas, os valores de implantação do PVT possam cair e se popularizar, assim como aconteceu com o SFV e o SAST. Desta forma, a utilização dos sistemas solares poderá trazer grandes benefícios para uma implantação em grande escala, incluindo as HIS, inclusive no que se refere à viabilidade financeira.

2.3.1 Estudo de mapeamento digital do desempenho tecnoeconômico do sistema PVT para edifícios em grandes cidades

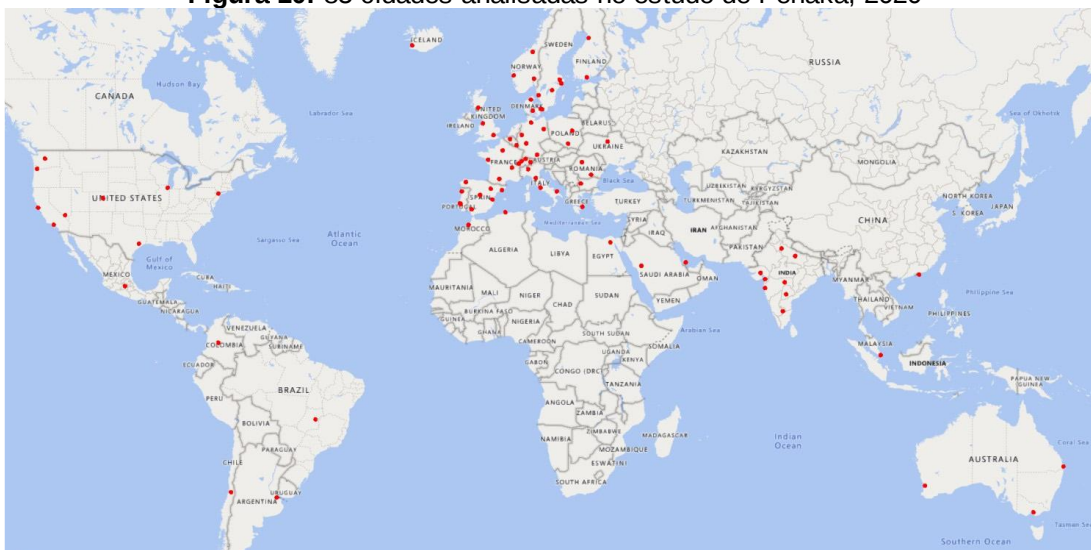
Este estudo refere-se a uma avaliação técnico-econômica de um Sistema PVT para uma residência unifamiliar para geração de eletricidade e aplicações de água quente em 85 locais em todo o mundo (Penaka *et al.*, 2020).

De acordo com os autores, do ponto de vista técnico, a tecnologia PVT está bem desenvolvida, no entanto, as principais barreiras no desenvolvimento e implantação do PVT são a falta de padrões de testes, incerteza financeira e os modelos de negócios, que são diversos nos nichos de mercado. Dessa forma, o potencial da solução não foi totalmente explorada, mesmo sendo uma solução muito eficiente para a indústria, assim como no uso doméstico.

A análise tenta preencher a coluna da simulação do desempenho técnico-econômico do PVT através de uma ferramenta comum em uma grande área geográfica, visando a viabilidade de aplicação e potencial de negócios. A ferramenta de simulação híbrida *Abora* foi usada para o mapeamento das 85 cidades escolhidas (figura 10) com base na densidade populacional e geográfica, assim como a disponibilidade de dados meteorológicos, visando um mercado regional. Dentre as

muitas cidades do mundo, a capital brasileira, Brasília, foi escolhida.

Figura 10: 85 cidades analisadas no estudo de Penaka, 2020



Fonte: Penaka (2020)

O estudo aplicou uma abordagem de mapa digital baseado em mapas de calor para visualizar o desempenho de vários indicadores nos locais simulados. Os resultados da simulação para todos os locais foram exportado para uma planilha no *Excel* para cálculos de eficiência energética. Depois disso, os resultados foram visualizados usando a ferramenta *QGIS*, que fornece uma renderização do mapa de calor para projetar dados de camada de pontos com um algoritmo de processamento de estimativa de densidade.

Para a performance econômica, a pesquisa considerou dois modelos financeiros diferentes: o modelo 1 – com investimento pago no primeiro ano; e modelo 2 – com 25% do valor pago inicialmente e os demais 75% financiados. Também foi considerado o valor da eletricidade em cada um dos países em €/kWh. A título de comparação com alguns países, ao Brasil e Colômbia foram atribuídos um valor entre 0,10 e 0,15 €/kWh, enquanto na Argentina o valor ficou entre 0,05 e 0,10 €/kWh, no Chile entre 0,15 e 0,20 €/kWh. Os países com energia mais cara foram a Alemanha e a Dinamarca, com custo entre 0,30 e 0,35 €/kWh, enquanto a eletricidade mais barata ficou com Ucrânia, Qatar, Arábia Saudita, Argélia e Egito, com valores entre 0 e 0,05 €/kWh.

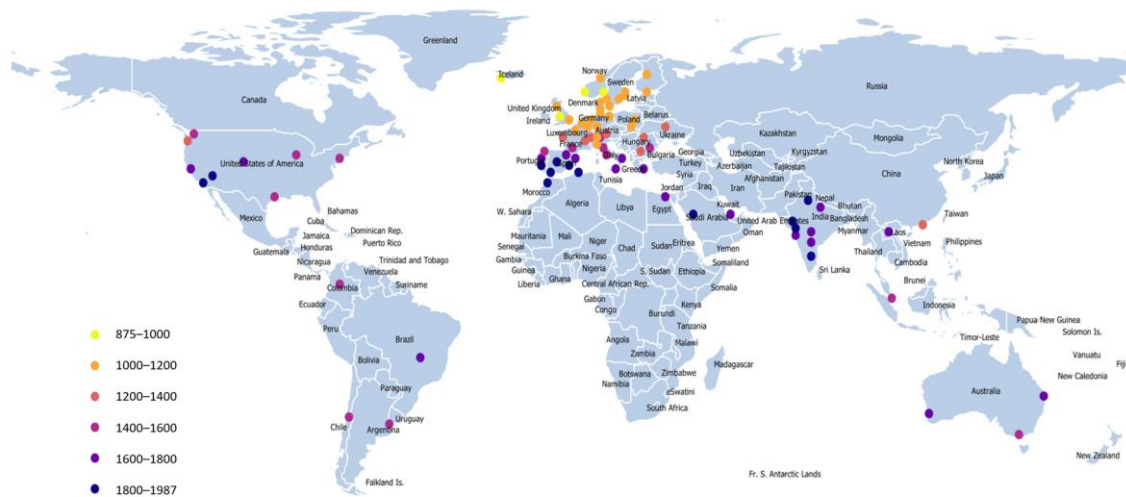
Para descobrir e comparar o desempenho energético do coletor nos 85 diferentes locais, a demanda térmica foi mantida a mesma em todos os locais

selecionados. Portanto, a simulação considerou um único coletor PVT ($1,96 \text{ m}^2$), para aplicação em residência unifamiliar com 5 pessoas, para a mesma demanda e o mesmo volume de tanque. Essas suposições forneceram um denominador comum do sistema para compreender o efeito das variáveis climáticas e dos parâmetros de financiamento no desempenho do coletor.

Como resultados, inicialmente foram obtidas as média anuais das produções dos coletores térmicos e elétricos (kWh) nos países, como apontam as figura 11 e 12:

Figura 11: Média anual da produção térmica dos coletores (kWh) no estudo de Penaka, 2020

Annual average collector thermal production (kWh)



Fonte: Penaka (2020)

Figura 12: Média anual da produção elétrica dos coletores (kWh) no estudo de Penaka, 2020

Annual average collector electrical production (kWh)



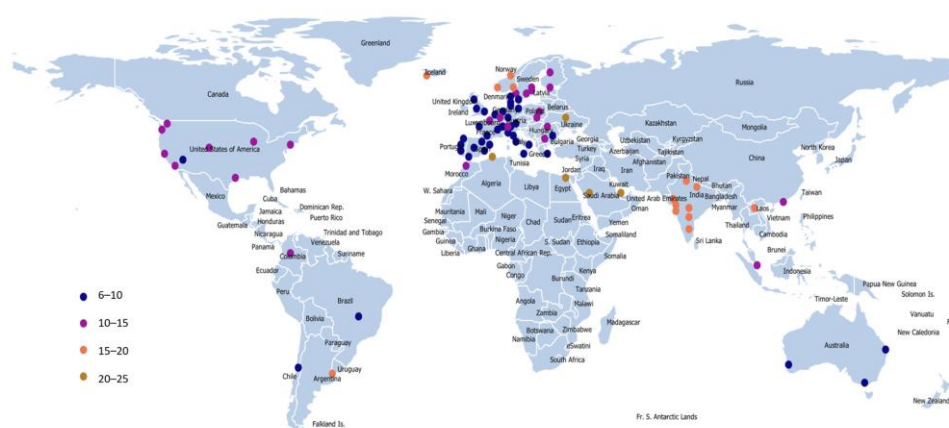
Fonte: Penaka (2020)

Para o Brasil, na cidade de Brasília, a produção térmica anual ficou em 1.762 kWh, enquanto a produção elétrica ficou em 467 kWh (valores próximos aos achados na Grécia, Qatar, alguns lugares da Índia e Estados Unidos, assim como México, Austrália e Egito) para ambos os índices.

A tendência geral mostra que a produção térmica é maior em países com maior irradiação, como Arábia Saudita, Argélia, Marrocos, Brasil, México e Índia, com produção térmica anual acima de 1.800 kWh (saída específica da área 918 kWh/m²) devido a alta GHI (Irradiância Global Horizontal) e à temperatura ambiente. A faixa inferior de produção média de coletores pôde ser vista em Reykjavik, Islândia, e em alguns locais da Noruega, com uma produção específica entre 475 e 500 kWh/m². Saída térmica semelhante foi obtida em locais como Suécia, Finlândia, Reino Unido e Dinamarca, com produção anual menor que 510 kWh/m². Os coletores que apresentaram melhor desempenho foram em países como Espanha, Portugal e Austrália, com produção superior a 1.600 kWh (816 kWh/m²).

A Figura 13 demonstra o período de retorno do sistema PVT para uma casa unifamiliar de 5 pessoas em vários países com base no modelo financeiro 1. Os resultados mostram que o custo total do sistema terá retorno nos primeiros 10 anos em países como Austrália, Bélgica, Dinamarca, Alemanha, Grécia, Itália, Portugal, Espanha, Suíça, entre outros. Isto se deve à alta produção dos coletores e ao alto valor da eletricidade. Embora países como a Argélia, Arábia Saudita e o Egito tenham a maior produção de coletores, o preço da energia é relativamente mais baixo, o que reflete o período de retorno de mais de 20 anos.

Figura 13: Período de payback (em anos) no estudo de Penaka, 2020
Payback Period (Years)



Fonte: Penaka (2020)

A conclusão do estudo mostra que o principal parâmetro que influencia o desempenho do PVT é o GHI (Irradiância Global Horizontal). Outro fator que influencia o desempenho energético é a temperatura ambiente. A produção elétrica pelo coletor PVT é maior em locais com alta temperatura ambiente². Mais importante ainda, os resultados mostram que uma maior produção energética não garante uma elevada viabilidade econômica. Existem vários fatores como preço da eletricidade, taxa de juros e seleção de modelo financeiro que podem afetar fortemente a viabilidade econômica do coletor PVT. O modelo econômico 1 é altamente recomendado para locais com altas taxas de juros e o modelo financeiro 2 é benéfico para os locais com menores taxas de juros. Neste cenário, o período de retorno financeiro no Brasil é entre 6 e 10 anos, que o caracteriza como um país de viabilidade de implantação de sistema.

2.3.2 Sistema PVT: A experiência do Centro Universitário UNA, com ensaios pelo Green PUC Minas

O Centro Universitário Una (Minas Gerais Educação) atualmente faz parte do Ecossistema Ânima e em 2017 possuía parceria com o GEPEN (Grupo de Estudo e Pesquisa em Energia). O Una, juntamente com a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) são detentoras da patente de 4 coletores do Sistema PVT. O financiamento foi realizado através do projeto de P&D 498: “Desenvolvimento de soluções PVT para aumento da eficiência de usinas solares”.

O Grupo de Estudos em Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, GREEN PUC Minas, vincula-se ao Instituto Politécnico da PUC Minas (IPUC) e foi criado em novembro de 1997 com a missão de promover a inovação e desenvolvimento de competências, soluções e produtos destinados à utilização de energias renováveis (IPUC, 2017).

Em 2014, o GREEN fez ensaios de 4 coletores solares para o Centro Universitário Una com o intuito de verificar a eficiência térmica instantânea e a constante de tempo dos protótipos montados para aplicação em banhos. Os diferentes coletores foram montados no próprio local de ensaio acoplando-se o módulo

² O trecho “A produção elétrica pelo coletor PVT é maior em locais com alta temperatura ambiente” não indica alinhamento com as demais fontes bibliográficas.

fotovoltaico ao sistema de aquecimento solar térmico. As condições climáticas dos testes foram as mesmas para todos os coletores, assim como a inclinação dos sistemas foi conforme a latitude de Belo Horizonte, 20°, orientação Norte, a fim de se obter a maior radiação solar possível.

2.3.2.1 Resultados dos testes

Os 4 coletores do GREEN, posteriormente patenteados, possuíam características muito próximas, como área externa do coletor com 1,71 m², em alumínio, assim como o material da tubulação/serpentina em cobre. As diferenças entre os modelos se deram pela pigmentação ou não dos coletores, ou variação de diâmetro da tubulação. A placa absorvedora também foi diferente em um dos modelos. Para aplicação neste trabalho, os principais resultados de desempenho destes PVTs referem-se à Eficiência Térmica Instantânea, à Produção Mensal de Energia e à Produção Específica Mensal de Energia (tabela 1).

Tabela 1: Características específicas dos coletores.

	Coletor 1	Coletor 2	Coletor 3	Coletor 4
Modelo	Padrão com pigmento	Padrão sem pigmento	Diâmetro variável com pigmento	Diâmetro variável sem pigmento
Área transparente (m ²)	1,71	1,59	1,56	1,56
Tipo de Placa Absorvedora	Serpentina	Chapa lisa	Chapa lisa	Chapa lisa
Pintura da Placa Absorvedora	Padrão com pigmento	Tinta comum cor preta	Tinta comum com pigmento	Tinta comum sem pigmento
Eficiência Térmica Instantânea (%)	59,42	52,24	61,06	56,06
Produção Mensal de Energia (kWh.mês)	141,15	123,77	143,33	131,92
Produção Específica Mensal de Energia (kWh.mês / m ²)	82,55	72,38	85,32	78,52

Fonte: GREEN (adaptado)

Enquanto aproximadamente 15% da radiação solar incidente em módulos

fotovoltaicos policristalinos são convertidos em energia elétrica, sendo o restante transformado em calor (Procópio, 2016), o acoplamento de módulos fotovoltaicos e coletores solares planos podem chegar a eficiências térmicas da ordem de 50% e 40%, e elétricas entre 9% e 12,1% para PVT com e sem coberturas de vidro, respectivamente (Palla, 2014).

Comparando os resultados dos 4 coletores, é possível verificar uma leve diferença nas suas produções, que variam de acordo com o tipo da placa absorvedora e pintura. O coletor de chapa lisa e pintura comum com pigmento foi o que mostrou maior eficiência térmica instantânea (61,06%) e também produção de energia (143,33 kWh.mês, ou 85,32 kWh.mês / m²). Importante, porém, é notar a proporção entre os coletores e verificar os números referenciais do sistema PVT como um todo.

2.4 Situação de vulnerabilidade das HIS (habitações de interesse social)

As HIS são aquelas voltadas à população de baixa renda que não possuem acesso à moradia formal ou até mesmo condições de pagar os serviços de construção civil.

De acordo com Moreira (2020), no Brasil o interesse do Governo Federal na construção de HIS iniciou-se na década de 1930, com a industrialização do país. A população rural, que se deslocava para trabalhar e viver nas cidades, tinha como opção as vilas operárias ou moradias de aluguel. Com a criação, em 1964, do Banco Nacional de Habitação (BNH), os Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAPs) encomendaram projetos de arquitetos modernistas, como Atílio Corrêa Lima, Carlos Frederico Ferreira e Maciel Fleury de Oliveira. Mesmo assim, a quantidade de moradias foi pouco expressiva já que, entre 1937 e 1964, foram produzidas apenas 140 mil moradias de HIS, em sua maioria, destinadas ao aluguel (Maricato, 2011).

A Lei Federal 11.124, de 16 de junho de 2005 dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social - SNHIS, cria o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social - FNHIS e institui o Conselho Gestor do FNHIS. O SNHIS possui os seguintes objetivos:

- I – viabilizar para a população de menor renda o acesso à terra urbanizada e à habitação digna e sustentável;
- II – implementar políticas e programas de investimentos e subsídios,

promovendo e viabilizando o acesso à habitação voltada à população de menor renda; e

III – articular, compatibilizar, acompanhar e apoiar a atuação das instituições e órgãos que desempenham funções no setor da habitação.

De maneira ampla, segundo o IPEA (2019), dentre os 17 ODS, estabelecidos pela Assembleia Geral das Nações Unidas, o 11º voltado à Cidades e Comunidades Sustentáveis, é tornar as cidades e assentamento humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Como meta as Nações Unidas pretendem, até 2030, garantir o acesso de todos à habitação segura, adequada e a preço acessível, aos serviços básicos e urbanizar as favelas. Já a meta do Brasil é, até 2030, garantir o acesso de todos a moradia digna, adequada e a preço acessível; aos serviços básicos e urbanizar os assentamentos precários de acordo com as metas assumidas no Plano Nacional de Habitação, com especial atenção para grupos em situação de vulnerabilidade.

Não são recentes no Brasil os projetos de HIS que possuem o objetivo de proporcionar à população de menor poder aquisitivo um sistema que utiliza a energia solar (aquecimento de água ou fotovoltaico, por exemplo), para diminuir os impactos da conta de energia elétrica no orçamento familiar e garantir a sustentabilidade ambiental. Além disso, a energia solar ainda tem participação pequena da matriz elétrica brasileira, correspondendo a 1,9%, enquanto a energia hídrica, principal fonte de energia utilizada no país, representa 59,3% (Absolar, 2020). Assim sendo, estudos como este podem auxiliar muitas famílias em situação de vulnerabilidade, com pouquíssimos recursos financeiros, proporcionando economia financeiras, disseminando as tecnologias solares e contribuindo com a sustentabilidade.

A utilização das tecnologias solares pode ser encarada como estratégica devido aos benefícios que essa tecnologia proporciona, tanto para o usuário, quanto para o setor elétrico brasileiro, como aponta Energia Solar Para Aquecimento de Água no Brasil (2012). Ainda de acordo com a obra, para o setor elétrico, a utilização dessa tecnologia possibilita que menos energia seja dispendida para o aquecimento de água, colaborando com a postergação de investimentos na construção de novas usinas, assim como possibilita a redução da demanda de energia no horário de pico. Do ponto de vista ambiental, há o olhar voltado para tecnologias alternativas, com seus custos sendo reduzidos conforme sua utilização se expande e, com isso, uma consequência direta é a redução da emissão de gases do efeito estufa.

Para o consumidor, o benefício direto é a economia financeira, mas também há o lado social, onde muitas vezes a comunidade trabalha em conjunto com a empresa de instalação. Essa integração entre os atores possibilita muitas vezes que novos mercados surjam, em que a comunidade é treinada para que possa atender sua própria demanda, como é o caso da população que recebe cursos para a manutenção dos equipamentos de aquecimento térmico, ou até do sistema fotovoltaico.

Os benefícios são inúmeros e as populações em situação de vulnerabilidade, como é o caso dessa pesquisa, podem ajudar não somente ao Meio Ambiente, mas também gerar renda a elas mesmas. De qualquer forma, é imprescindível que saibamos identificar a real necessidade dessas pessoas para promovermos a troca de conhecimento e, assim, auxiliá-las.

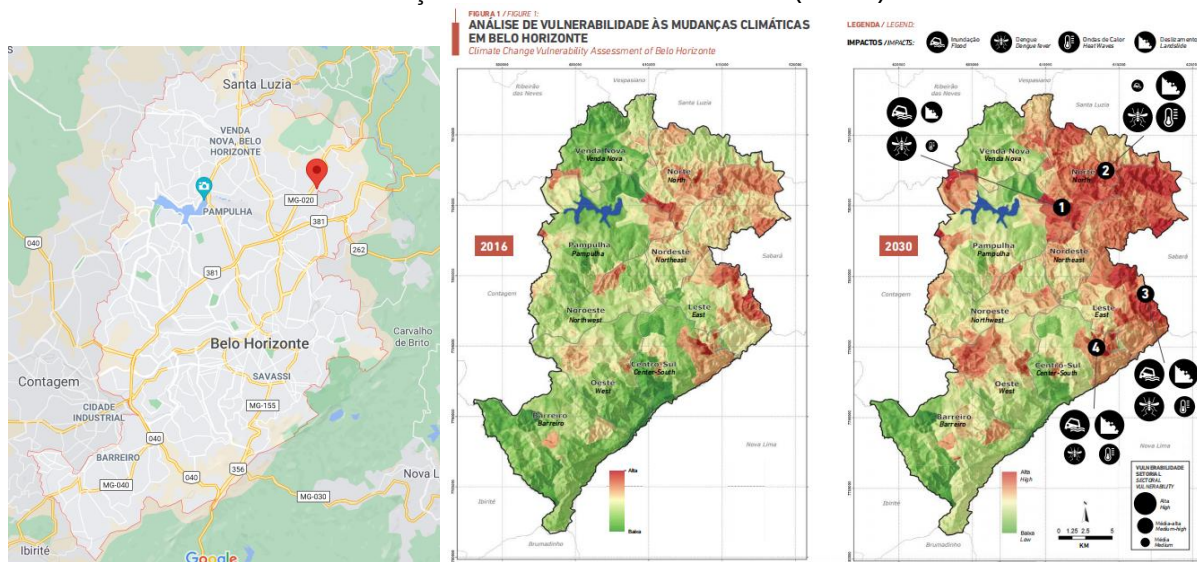
2.5 Estudo de caso: Residências do entorno da EMHJS

O bairro Novo Aarão Reis (latitude 19°50'S e longitude 43°54'O) encontra-se na região Nordeste de Belo Horizonte e, de acordo com a Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte (Way Carbon, 2016), essa é a regional que apresenta a maior expansão de áreas com alta vulnerabilidade entre o período de 2016 e projeção para 2030. Ainda de acordo com a publicação, o índice composto de vulnerabilidade de Belo Horizonte foi calculado por meio da média ponderada dos índices de vulnerabilidade por impacto potencial estudado, a saber: inundação, deslizamento, dengue e ondas de calor.

A Figura 14 aponta o bairro de estudo e indica o grau de vulnerabilidade regional: quanto mais vermelho, mais alto o grau. O Novo Aarão Reis encontra-se entre os pontos 1 e 2, com altos índices de inundação, dengue, ondas de calor e deslizamentos.

É de extrema importância que as comunidades das regionais com os maiores índices de vulnerabilidades recebam atenção de estudos, pesquisas e sobretudo ações principalmente do Poder Público a fim de mitigar os potenciais danos.

Figura 14 – Bairro Novo Aarão Reis no contexto de Belo Horizonte (esquerda); Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas em BH em 2016 (centro); Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas em BH em 2030 (direita).



Fonte: Modificado do Google Maps, 2021 e Análise de Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas do Município de Belo Horizonte (2016)

2.5.1 Levantamento e análise de dados de consumo de energia em escola pública municipal para *retrofitting*

A pesquisa desta dissertação parte de uma investigação realizada anteriormente por um grupo da Escola de Arquitetura da UFMG com o objetivo de apresentar os dados de consumo energético levantados na Escola Municipal Herbert José de Souza (EMHJS), localizado na região norte de Belo Horizonte, para entender e analisar a demanda energética desagregada por usos finais, de modo a aumentar o potencial de eficiência energética da edificação através de *retrofitting*. Na ocasião foram aplicadas técnicas de observação extensiva como *walk-through*, *checklist*, levantamentos físico da edificação, distribuição de questionários, tabulação e representação de dados. O *walk-through* é um instrumento de grande utilidade na APO, uma vez que, segundo Rheingantz *et al.* (2009), permite que os observadores se familiarizem com a edificação em uso, fazendo uma identificação descritiva dos aspectos negativos e positivos dos ambientes analisados. O *checklist* se baseia nos aspectos de interesse a serem verificados na edificação, reunindo assim, as características energéticas (tempo de uso de lâmpadas e equipamentos elétricos, tipologia das lâmpadas e equipamentos utilizados, perfil de consumo dos usuários) e

construtivas do edifício (material construtivo e cores, estratégias para barramento do sol da tarde e aumento de conforto dos usuários).

A EMHJS é responsável pelo ensino infantil, fundamental e de adultos através do programa de educação de jovens e adultos (EJA). Também é um importante equipamento público de lazer, por fazer parte do programa Escola Aberta aos finais de semana, desempenhando um papel de grande importância na comunidade em que está inserida. Seu entorno se caracteriza por uso misto com habitações residenciais com poucos pavimentos e comércio local pulverizado nas proximidades da escola (Buchala *et al.*, 2019).

A APO foi utilizada para analisar o consumo energético da escola em estudo, orientando uma boa manutenção da edificação, tem sido capaz de desenvolver um panorama da situação atual, cenários preditivos e embasar decisões futuras. Além dos dados obtidos, foi visto que uma boa manutenção, bons hábitos e a conscientização dos usuários podem ter influência sobre a eficiência energética de maneira geral, assim como a renovação dos equipamentos e das lâmpadas, acompanhando as novas tecnologias. Além disso, concluiu-se que o *retrofitting* é capaz de aumentar o nível de eficiência energética através do entendimento dos usos e troca dos aparelhos energéticos de maior consumo.

O estudo em tela traz a proposta de ampliar a investigação realizada, utilizando a mesma estratégia metodológica para focar, agora, nas habitações existentes no entorno da escola.

2.6 Dificuldade institucional da política ambiental no Brasil

Não é exclusividade do Brasil a dificuldade em tornar realidade o discurso ambiental que consta no papel. Os próprios ODS's são vistos como "mitos" muitas vezes, como em Alves (2015), quando diz "Os ODS apresentam uma boa intenção, mas vendem uma grande ilusão". Particularmente é ainda mais apelativo quando o crescimento econômico é associado aos problemas sociais, como apontado nas obras de Georgescu-Roegen e da entropia. Segundo o autor, é impossível manter os níveis atuais de crescimento econômico sem que as futuras gerações arquem com o ônus da irresponsabilidade. É necessário que a economia deixe de crescer e até mesmo que se retraia a atividade de produção e consumo (Cechin, 2010).

Goldblatt (1996), aponta que as políticas públicas do meio ambiente têm se

caracterizado mais pelo fracasso do que pelo sucesso. A incapacidade institucional dos órgãos públicos do meio ambiente tem recorrentemente sido apresentada como um sério impedimento às tentativas de enfrentar os problemas e os riscos ambientais e todas as questões sociais relacionadas a eles (Borinelli, 2011). Ainda, segundo este último autor, o problema da vulnerabilidade institucional da política ambiental encontra-se vinculado conflituosamente a dimensões institucionais mais amplas. Destaca-se a sociedade e economia capitalistas, a democracia liberal e a cultura política patrimonial como instituições que influenciam diretamente na dinâmica e desempenho da política ambiental. Julgamentos quanto ao fracasso ou sucesso das instituições ambientais também devem estar sujeitos a uma interpretação relacionada ao quadro de distribuição assimétrica de poder social e de interesses que compõem os conflitos sócio-ambientais.

Fazendo-se uma síntese das dificuldades enfrentadas na aplicação prática de uma agenda ambiental, há a ideia de que o meio ambiente pode não ser prioridade diante a economia, mesmo com discursos de sustentabilidade, como se o desenvolvimento sustentável não estivesse atrelado à economia. E mesmo assim, há potencialmente um desalinhamento entre os níveis de governo (esferas federal, estadual e municipal), afinal a implantação de uma política ambiental pode ter custos políticos e econômicos elevados. Pode haver desinformação sobre o assunto (inclusive da população, que fica muitas vezes à margem dos acontecimentos políticos, pois não há uma educação ambiental formal), falta de recursos financeiros e técnicos, mas nota-se também morosidade política.

2.7 Análise financeira

Como comentado, o sistema PVT não é comercializado no país. Não há, portanto, um modelo de negócio, ou mercado da tecnologia que possa facilmente orçar e informar o *payback*, como é feito com o SFV ou SAST, para se avaliar a viabilidade de implantação. Isso torna-se particularmente mais difícil quando é pretendido que o sistema seja implantado em um tecido urbano complexo, em uma comunidade de baixa renda, que não tem como pagar pelos equipamentos. Assim, a análise financeira deve ser realizada de outra forma.

O que se demonstra aqui são as carteiras de investimentos ESG – sigla, em inglês, que reúne os termos *Environmental* (meio ambiente), *Social* (social), e

Governance (governança). O termo é tido como um conjunto de padrões e boas práticas que visa definir se uma empresa é socialmente consciente, sustentável e corretamente gerenciada. Trata-se de uma forma de medir o desempenho de sustentabilidade de uma organização.

A forma apresentada é através da comparação com o Ibovespa (Índice da Bolsa de Valores de São Paulo). Mesmo o ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial) perdendo para o Ibovespa no apanhado de 12 anos, desde sua criação em 2005, desse total, o ISE superou a do Ibovespa em 11 dos 17 anos. E ainda há o fato que os índices de sustentabilidade possuírem menor risco que o do Ibovespa.

O referencial teórico apontou diversos *paybacks* para as tecnologias solares, sendo eles: em torno de 6 anos para o SFV (Greener, 2023) em Minas Gerais; aproximadamente 5 anos para o SAST em Belo Horizonte; e também a viabilidade de aplicação e potencial de negócio para o PVT entre 6 e 10 anos (Penaka, 2020) para hipotéticos cenários no Brasil, mais especificamente em Brasília, em comparação com outras cidades no mundo. Devemos considerar, entretanto, que essa margem do PVT é muito ampla, com variação de 4 anos, e também contou com dados generalizados dos países da pesquisa, o que não reflete em sua totalidade a realidade do Brasil.

Somado a esse cenário de investimentos privados, há a percepção da incapacidade das políticas públicas de assumirem os compromissos de investimentos nas tecnologias sustentáveis em sua totalidade. Conforme apontado no item “Dificuldade institucional da política ambiental no Brasil”, diversos fatores são complicadores para a implantação de uma política pública séria, mesmo porque os custos (políticos e econômicos) são altos. Até mesmo a sustentabilidade é tratado como “lobby”, pois a prática do desenvolvimento econômico e sustentável não ocorre, de fato. Há, portanto, a necessidade de investimentos privados para que os benefícios das tecnologias solares possam emergir.

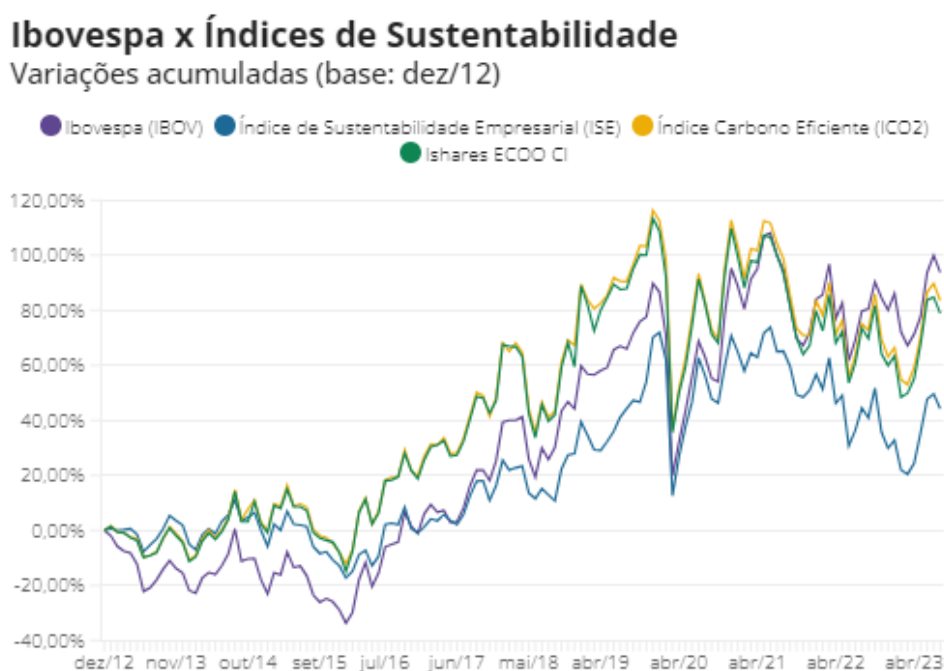
Ao tratarmos de investimentos privados, porém, temos que entender que no geral, ele visa o lucro. Certamente há uma questão de propósito e missão, mas o foco é que a tecnologia deva dar retorno financeiro. Dessa forma, pode-se analisar as carteiras de investimentos ESG frente a outros indicadores para entender o seu potencial.

As empresas ESG (companhias alinhadas às condutas de meio-ambiente, social e governança), possuem o índice Idiversa, na bolsa de valores, que reúne aquelas com diversidade no seu quadro de funcionários. Conforme informado na

reportagem da Valor Investe³, em Agosto de 2023, embora o discurso sustentável tenha longevidade e bons resultados devido à sua boa prática, inclusive menores riscos para investimento, os números mostram que os índices perdem para o Ibovespa. Porém não invalida os investimentos nas carteiras ESG.

Nos últimos dez anos, de Dezembro de 2012 a Agosto de 2023 a Ibovespa acumulou alta de 93,82%. Já o ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial), que reúne as companhias com as melhores práticas de sustentabilidade, a alta foi de 44,18%, ou seja, praticamente metade. Entretanto, se considerarmos o período de 17 anos, quando o ISE foi criado, ele superou o Ibovespa em 11 anos, contra 6 do principal índice da bolsa de São Paulo (Figura 15).

Figura 15: Variação dos Índices de Sustentabilidade X Ibovespa



Fonte: Site Valor Investe (2023).

A reportagem informa que essa distorção acontece por que não há um padrão, afinal o mercado em questão (das práticas ESG) ainda é muito pequeno. Ou seja, é extremamente importante a geração de dados (mesmo que negativos). É preciso que a temática esteja mais disseminada, inclusive no campo acadêmico, onde a pesquisa acontece. A divulgação das práticas de sustentabilidade pode viabilizar a expansão

³ <https://valorinveste.globo.com/mercados/renda-variavel/bolsas-e-indices/noticia/2023/08/28/esg-da-retorno-indices-de-sustentabilidade-perdem-do-ibovespa-mas-ha-boas-razoes-para-se-investir.ghml>

do setor e atrair os olhares de investidores.

Um outro fator, conforme descrito na reportagem, que vai além do retorno, é o risco. Três conclusões foram tiradas: os índices de sustentabilidade têm performance melhor no longo prazo; eles protegem mais o investidor em cenários de queda, e a adoção de boas práticas traz mais inovação e melhores práticas de gestão de risco para as companhias. Em relação ao Ibovespa, os índices de sustentabilidade possuem menor volatilidade.

Pode-se entender desses resultados que as práticas de sustentabilidade possuem um potencial de investimento, mesmo que a longo prazo. É fundamental olhar para o negócio com visão de escala. Com a ampliação das carteiras ESG, novos dados serão gerados podendo criar um padrão de comportamento e até melhorar a performance dos índices. Ainda há o fator de risco menor, fazendo que o índice possua maior estabilidade em relação ao próprio Ibovespa.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentado o passo-a-passo deste estudo científico. Diversas fontes e seus respectivos resultados foram investigados de forma a estabelecer um critério para obtenção de novos dados, uma vez que a pesquisa em questão não possuía um marco teórico definido, ou seja, ela partiu de generalizações empíricas.

É importante destacar que embora existam diversos estudos relacionando as moradias populares e as tecnologias solares, não são encontradas na cidade de Belo Horizonte/MG soluções que envolvam as habitações já consolidadas com possibilidade para posterior implantação do sistema proposto neste estudo – PVT. Dessa forma, o estudo partiu da observação de casos específicos para comparação com simulações baseadas em dados estatísticos relativos à área em questão.

A estrutura em tópicos a seguir demonstra as etapas que esta pesquisa utilizou para chegar aos resultados:

- Levantamento de dados populacionais do bairro Novo Aarão Reis, a fim de identificar o perfil da comunidade, através do número de habitantes e a faixa de renda. Para tanto, utilizou-se as informações disponibilizadas pelo IBGE e também pelo Centro de Saúde do bairro;
- Entendimento do consumo energético (kWh.mês) das habitações, a partir da classe social estabelecida. Para esta análise, as informações do Procel (2019) foram empregadas;
- Levantamento dos tipos das coberturas das residências do bairro de pesquisa através do *Google Earth*. Neste primeiro momento de reconhecimento da tipologia das habitações do bairro, utilizou-se os resultados encontrados por alunos de Arquitetura da UFMG (durante o estágio docente do mestrando), em disciplina optativa com a temática de eficiência energética;
- Aproximação entre a pesquisa e a comunidade escolar e de moradores através de *workshops*. Esses encontros permitiram a criação de vínculo entre as partes envolvidas e melhor entendimento das necessidades energéticas da população em estudo;
- Aplicação de questionários à comunidade para validação dos dados encontrados de consumo energético e também do perfil populacional. Esta

etapa demonstrou, inclusive, a importância dos *workshops*, como potencializadores da relação entre a pesquisa e o usuário;

- Modelagem computacional do bairro com o intuito de gerar a volumetria das habitações do estudo, implantadas na superfície topográfica georreferenciada. Para tanto, foram utilizados os *softwares*: *Rhinoceros*, *Speckle*, *Grasshopper*, *Ladybug* e *Excel*, além dos *shapefiles*, disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte;
- Simulação computacional a partir da modelagem gerada no passo anterior. A partir de dados climáticos e período de análise estabelecidos, foi possível realizar a análise da incidência de radiação no bairro e obter subsídios para o entendimento da utilização das tecnologias solares nas habitações populares pesquisadas;
- O cruzamento de dados do referencial teórico com o encontrado na simulação computacional, possibilitou a identificação do potencial do sistema PVT na comunidade do bairro Novo Aarão Reis.

Para as habitações analisadas, que localizam-se no entorno da escola de referência, a EMHJS (Escola Municipal Herbert José de Souza), foi adotada uma metodologia similar àquela utilizada no estudo de Buchala *et al.* (2019), a fim de atender a demanda da investigação, através de observação extensiva como *walk-through*, *checklist*, levantamentos físico das habitações, tabulação e representação de dados. Incluiu-se, de fundamental importância, a distribuição de questionários à população, que permitiu que o pesquisador obtenha informações distribuídas, gerais e amplas das habitações do bairro, como também específicas das famílias da comunidade. Foi uma ferramenta que permitiu a análise do consumo energético das casas do entorno da EMHJS.

Portanto, seguindo os objetivos apontados na apresentação deste trabalho, a primeira parte da metodologia relacionou-se com a coleta de dados populacionais e também energéticos do Novo Aarão Reis que se deu através das informações disponibilizadas pelo IBGE no Censo de 2022, além das passadas pelo Centro de Saúde do bairro e também a distribuição dos questionários. Paralelamente ao levantamento, foi fundamental o conhecimento mais pessoal do pesquisador e a comunidade, por isso a troca de experiências durante *workshops* proporcionados com a ajuda da EMHJS fez-se necessária. Inclusive, foi através dessas reuniões que

muitas das perguntas do questionários foram elaboradas.

Um aspecto importante para o trabalho proposto foi a avaliação financeira do sistema PVT. Mesmo não sendo comercializado no país, foi possível fazer uma leitura sobre o investimento se comparado a outros índices da bolsa de valores, mesmo que seja para ampliar a base de dados existente, que é escassa ainda. Por fim, a modelagem das edificações do bairro através de *softwares* específicos para análise da radiação solar possibilitou a compreensão de dados técnicos do comportamento das edificações no contexto do tecido urbano para geração de energia térmica e elétrica a partir do Sol.

3.1 Levantamento de dados populacionais

O levantamento censitário do estudo foi feito através do Portal do IBGE, Panorama Censo 2022. A partir das opções disponíveis foi possível obter informações do banco de dados do bairro Novo Aarão Reis pelo Censo de 2022. Tais informações estatísticas permitiram traçar o perfil da comunidade, como a população residente, quantidade de domicílios, média de moradores por domicílios, entre outras. Considerando o Censo de 2022 como o mais atual, muitas informações referentes aos setores (bairros) não foram disponibilizadas até o momento. A última atualização com as quais este trabalho esteve alinhado data de 21 de Março de 2024.

Também foi utilizada outra fonte estatística, o de levantamento realizado pelo Centro de Saúde Novo Aarão Reis. Inicialmente esses dados foram coletados pois ainda não estavam disponíveis as informações do IBGE, entretanto, como veremos mais a frente, eles foram valiosos, pois aparentam ser mais confiáveis que os do próprio IBGE.

3.1.1 Dados populacionais conforme IBGE (Censo 2022)

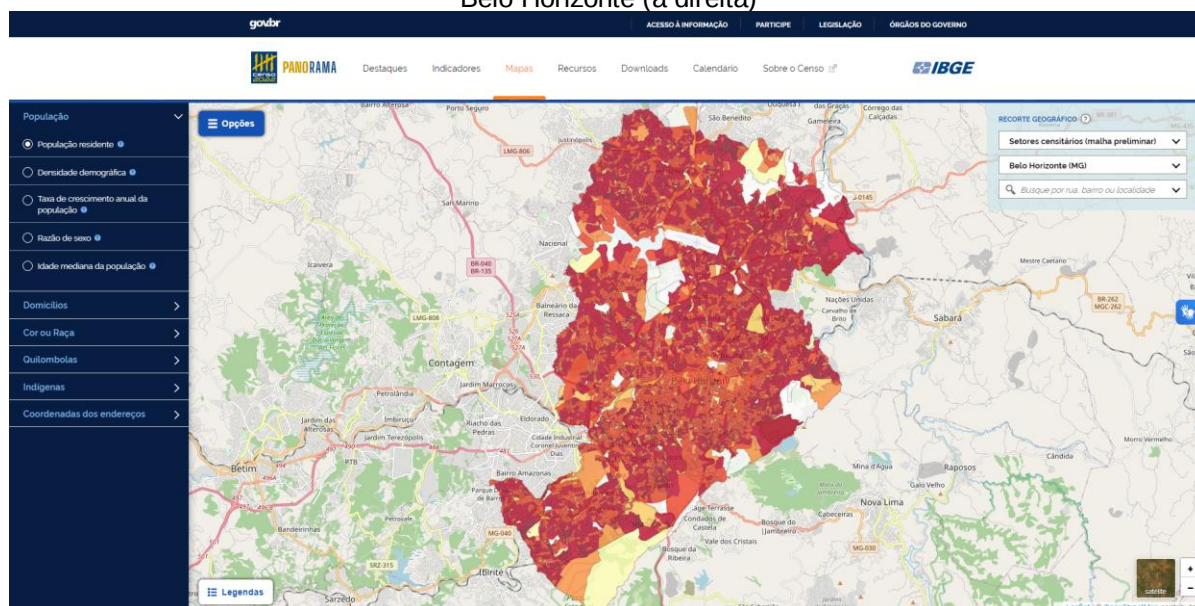
O Censo de 2022 proporcionou a compreensão dos setores (bairros) de diversas cidades brasileiras através do acesso ao link Panorama Censo 2022⁴ e a seleção de diversos índices, tais como: população residente, quantidade de domicílios e média de moradores por domicílio. Outras informações, como, por exemplo, razão

⁴ <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>

de sexo, ainda não estavam disponíveis no portal.

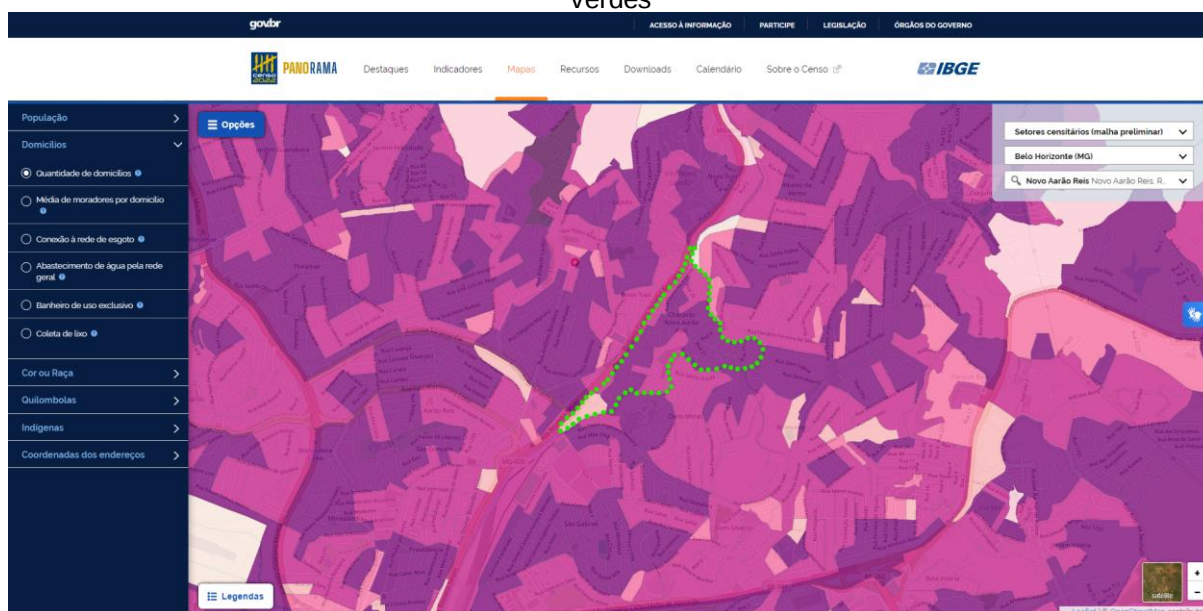
A tela com a indicação da cidade de Belo Horizonte em meio às cidades vizinhas e sua população residente pode ser vista na Figura 16, abaixo, assim como o bairro inserido no contexto de parte da regional Norte (Figura 17), em pontilhado verde.

Figura 16 – Seleção da opção “População residente” (à esquerda), com o recorte para a cidade de Belo Horizonte (à direita)



Fonte: Ibge (2022).

Figura 17 – Seleção da opção “Quantidade de domicílios” (à esquerda), com o recorte para o Setor Censitário Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte (à direita). O bairro está demarcado com os pontos verdes

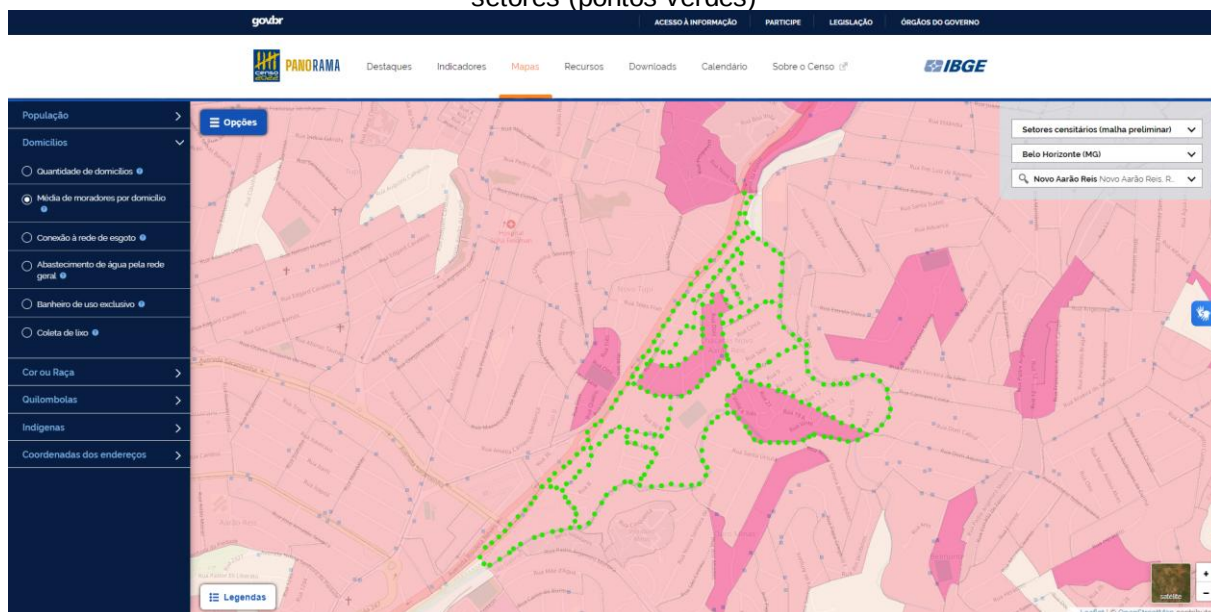


Fonte: Ibge (2022).

Após a sinalização do bairro no buscador do menu, foi possível a obtenção de informações específicas do bairro, como foi o caso do item “Média de moradores por domicílios”, onde o bairro foi dividido em 12 setores e cada qual com a sua média de habitantes (Figura 18).

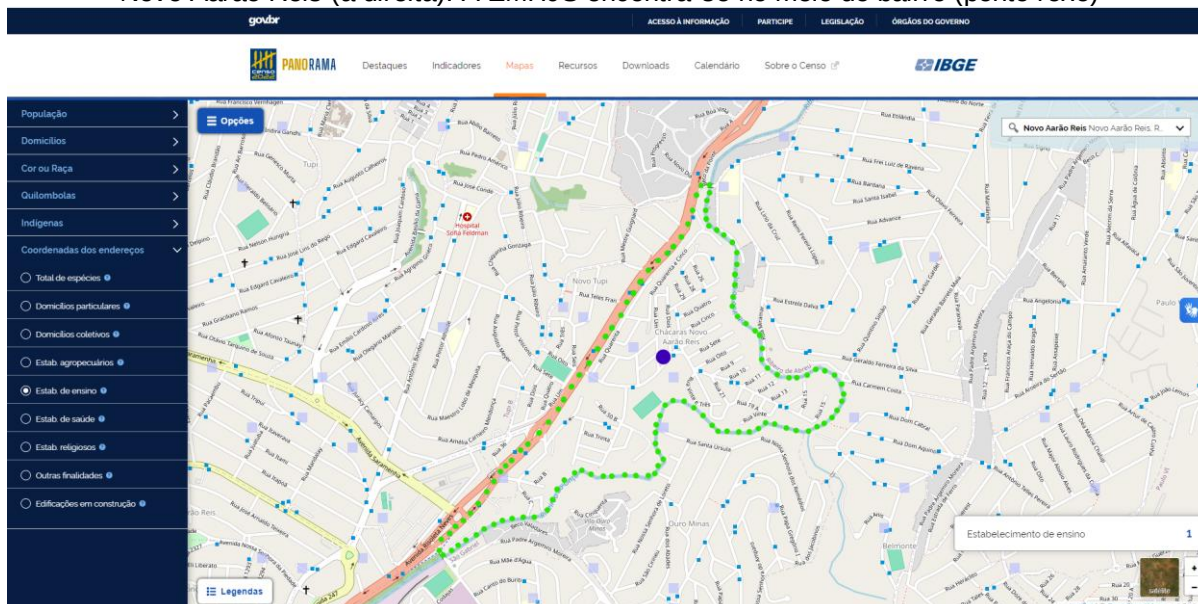
Outra opção viabilizada pelo mapa foi a seleção de “Estabelecimentos de ensino”, onde os mesmos foram destacadas em seus setores. A figura 19 apresenta em roxo, no centro, a EMHJS, em cujo entorno este estudo foi realizado. O bairro Novo Aarão Reis está destacado com pontos verdes.

Figura 18 – Seleção da opção “Média de moradores por domicílios” (à esquerda), com o recorte para o Setor Censitário Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte (à direita). O bairro foi separado em 12 setores (pontos verdes)



Fonte: Ibge (2022).

Figura 19: Seleção da opção “Estab. de ensino” (à esquerda), com o recorte para o Setor Censitário Novo Aarão Reis (à direita). A EMHJS encontra-se no meio do bairro (ponto roxo)



Fonte: Ibge (2022).

3.1.2 Dados populacionais conforme Centro de Saúde local

Na sequência, a partir do apoio da EMHJS e também da Unidade Básica de Saúde (UBS) Novo Aarão Reis, foram obtidos dados gerais da população, para que possa ser levantado o perfil de consumo das habitações do bairro. Para esta etapa extremamente burocrática, foi realizado contato com a gerente do centro de saúde, em que ela orientou a solicitar as informações do bairro junto ao Núcleo de Pesquisa da Secretaria Municipal de Saúde. Para tanto, foi necessária antes a obtenção de um Parecer Técnico da Secretaria do Meio Ambiente a favor da disponibilização dos dados para a pesquisa. Após o período entre 17 de Março de 2023 e 28 de Agosto do mesmo ano, a ASTIS - Assessoria de Tecnologia da Informação em Saúde da Prefeitura de Belo Horizonte disponibilizou as informações.

Os dados repassados foram de endereço completo, com número de habitantes e separação por sexo e idade. Conforme foi explicado pela gerente da UBS, essas informações foram coletadas pelos agentes de saúde e repassadas ao sistema da PBH. Assim, o centro de saúde possuía dados bem completos das habitações do bairro.

Após a organização dos dados levantados, foi elaborada uma planilha de comparação entre dados do IBGE e também da UBS Novo Aarão Reis, como será apresentada no capítulo seguinte, de Resultados.

3.2 Consumo energético (kWh.mês) de habitações classe D e E

Com a obtenção dos dados da população do bairro Novo Aarão Reis conforme descrito anteriormente, foi possível estabelecer um consumo energético padrão (estimado) para as residências através da literatura.

De acordo com uma pesquisa do PPH 2018-2019 (Procel, 2019), 96,8% da amostra de domicílios das classes sócio-econômicas D e E da região Sudeste foram casas unifamiliares com área média de 51,64 m², possuindo 4 cômodos: sala, quarto, cozinha e banheiro. 97,7% dos domicílios usavam energia elétrica da rede geral de abastecimento. O consumo médio mensal no período amostrado foi de 117,09 kWh.mês, sendo bastante homogêneo durante o ano. Algumas outras pesquisas, tais como (Brasil, 2007) e (Schultz, 2021) sugerem valores próximos entre si. De acordo com estes trabalhos, o consumo de energia elétrica do setor residencial para a região Sudeste foi de 172,9 kWh.mês (BRASIL, 2007) e que uma unidade residencial com 4 pessoas teve um consumo médio de 173,69 kWh.mês (Schultz, 2021).

Com base na posse de equipamentos e hábitos de consumo, a desagregação por usos finais provavelmente ocorre como mostra a tabela 2 (Procel, 2019).

Tabela 2 – Consumo estimado de energia elétrica por usos finais, classes D/E, na região Sudeste

Instalações e equipamentos		Quant (un.)	Pot. Unit. (W)	Total diário (h)	Total semana (h)	Total mês (h)	Total consumo (kWh)	Consumo (% do total)
Iluminação	Lâmpada fluorescente compacta 15W	4	15	5,0	35,0	87,5	5,3	4,48
Cocção	Refrigerador 200L, 1 porta	1	60	16,0	112,0	466,7	28,0	23,88
	Liquidificador	1	300	0,2	0,5	2,1	0,6	0,53
Serviço	Ferro elétrico	1	1000	0,5	0,5	2,1	2,1	1,78
Lazer e trabalho	TV cores 20"	1	90	4,0	28,0	116,7	10,5	8,96
	Celular (cargas de bateria)	1				30,0	0,2	0,20
Aquecimento água	Chuveiro elétrico, posição verão	1	3454	0,5	3,8	15,9	54,8	46,74
Conforto	Ventilador	1	90	6,0	42,0	175,0	15,8	13,43
Total:							117,2	100,00

Fonte: Procel, 2019 (adaptada)

3.3 Levantamento dos tipos das coberturas das moradias do bairro

De maneira a mensurar o potencial de implantação da tecnologia solar proposta, foi realizado um levantamento de imagens aéreas geradas pelo *Google Earth*. O intuito da análise foi o de verificar se as habitações no entorno da escola municipal possuem laje plana, ou telhado. Em caso de telhados, procurou-se identificar qual foi a sua orientação geográfica.

O estudo foi realizado por alunos de Arquitetura da UFMG, na disciplina optativa “Oficina temática de eficiência energética e fontes alternativas de energia”, do segundo semestre de 2022. Para a pesquisa, os alunos dividiram-se em 5 equipes, e cada uma delas foi responsável pela análise de uma parte do bairro. Foram analisadas as coberturas das habitações do Novo Aarão Reis que possibilitam visualização. Com essa premissa, foi possível identificar 2.848 coberturas de edificações, com orientações Norte, Sul, Leste, Oeste, Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste, além de lajes planas.

Embora a análise baseada nas imagens *Google Earth* não pôde ser categórica em suas conclusões, seja pelo motivo das fotos datarem de 2018, seja pela falta de qualidade das imagens, foi possível identificar que a maior parte das edificações ou seja laje plana, ou inclinações orientadas nas direções Nordeste, Norte e Noroeste, permitindo que a implantação da tecnologia solar proposta possa alcançar seu melhor desempenho, que é a orientação Norte. Em Resultados, será apresentada essa análise.

3.4 *Workshops* na EMHJS

Um *workshop* ocorreu em 06 de Maio de 2023 e teve a participação do mestrando, da orientadora e co-orientadora e foi realizado no ambiente da Escola Municipal Herbert José de Souza, com todos os professores, diretora e coordenador pedagógico. Durante o *workshop* foi apresentada aos professores uma parte teórica sobre os Sistemas Fotovoltaicos, de Aquecimento Solar Térmico e do PVT, assim como suas aplicações em Habitações de Interesse Social. Da mesma forma foram apresentados vídeos sobre o empoderamento das comunidades na instalação de sistemas solares no Brasil e no mundo. Por fim, houve um debate sobre as

possibilidades para obtenção de dados energéticos da população (que acabou gerando perguntas para o questionário) e sobre como poderia ser implantado o sistema PVT em algumas habitações locais. O propósito deste primeiro encontro foi o de alinhar conhecimentos dos sistemas energéticos assim como foi um momento de troca de informações gerais sobre a comunidade do Novo Aarão Reis.

3.5 Questionários para os moradores do bairro

A fim de avaliar o consumo energético da população do bairro Novo Aarão Reis foi elaborado um questionário com 14 perguntas e solicitado a moradores que o preenchessem. Para tanto, o pesquisador esteve em duas ocasiões na região da EMHJS para a coleta de dados, sendo a primeira no dia 06 de Dezembro de 2023, e a segunda em 16 de Dezembro de 2023. Para a primeira data, os questionários foram distribuídos para estudantes EJA, do período noturno, divididos em duas turmas: alfabetização e certificação. Como forma de introdução ao tema “Consumo Energético Residencial” para as turmas, o pesquisador apresentou na biblioteca da escola *slides* informativos sobre a relação “potência x energia” e como o consumo energético afeta diretamente a fatura da concessionária. Na segunda data, o questionário foi passado a moradores que não possuíam relação direta com a escola, mas sim, com a Igreja Batista Evangelista local. Na ocasião, em virtude da proximidade do Natal, a igreja proporcionou aos moradores a distribuição de alimentos, presentes e contou também com estudantes da área de saúde para aferição de pressão aos adultos, em uma festa. Como a EMHJS possui relação próxima à igreja, o pastor solicitou aos fiéis que respondessem ao questionário enquanto participassem da festa.

Em virtude do encerramento do semestre, os questionários aplicados e devolvidos em ambas as datas somaram 29. Mesmo o número de respostas sendo pequeno em relação ao número de habitantes do bairro, foi possível verificar alguns padrões de comportamento em relação ao consumo energético, como, por exemplo, a preocupação do morador para tomar banhos rápidos quando o mesmo recebe a fatura da concessionária, ou o contrário: a despreocupação quando o morador faz uso de “gatos” para o consumo de energia. Relatam-se banhos entre 3 min a 5 min por um lado, e até 30 min ou 60 min no outro caso, quando o morador não paga a conta de energia.

Outro aspecto interessante de avaliação foi a dificuldade das pessoas no

preenchimento dos questionários. As perguntas foram diretas, para marcação de “X” dentro de parênteses de acordo com a resposta, ou a colocação de números dentro dos mesmos. As tabelas de preenchimento do tempo de banho, que demandaria maior atenção e contava com um exemplo, causaram mais dúvidas ainda. A fim de mitigar essa dificuldade percebida já de início, as professoras e o pesquisador auxiliaram os alunos individualmente dentro da biblioteca, ou o pesquisador chamava individualmente os moradores da região na ocasião da festa da igreja.

Como pode-se perceber de acordo com o **APÊNDICE**, as 14 perguntas distribuíram-se em quatro páginas no total, contando-se frente e verso (duas folhas completas). Como orientações iniciais, foi informado no cabeçalho do questionário o intuito da pesquisa de consumo energético, desvinculando-a da concessionária CEMIG, demonstrando seu lado acadêmico. Também foi informado que a pessoa não deveria se identificar, para sigilo dos dados e segurança do entrevistado.

As perguntas no geral possuíam o objetivo de levantar junto aos entrevistados: a) dados populacionais, divididos em idade e sexo; b) a condição socio-econômica; c) condição social e física da moradia; d) dados de consumo energético.

As perguntas 1 e 2 referiam-se aos dados populacionais socioeconômicos de idade, sexo e renda familiar. As perguntas de 3 a 7 tratavam de informações sobre a moradia em si, como idade da construção e há quantos anos o morador a utilizava. As perguntas de 8 a 14 foram diretamente relacionadas ao consumo energético familiar, como quantidade e tempo de uso dos eletrodomésticos e, principalmente, tempo de duração dos banhos.

Por fim, o questionário continha agradecimento e um informativo que o resultado pode ser divulgado quando a pesquisa chegar ao fim.

3.6 Modelagem computacional

Devido à complexidade da populosa malha urbana do bairro Novo Aarão Reis, as simulações computacionais se fizeram necessárias. A simulação paramétrica pode ser interpretada como uma prática de modelagem digital na qual se podem simular uma grande quantidade de variáveis e atribuir relações matemáticas entre as mesmas, gerando assim algoritmos que abrangem uma infinidade de possibilidades. Para abordar esta questão, as ferramentas de projeto se integram a programas de simulação de desempenho que permitem aos usuários quantificarem o

comportamento térmico, energético e luminoso de um edifício ou parcela do tecido urbano (Reinhart *et. al*, 2015).

Dentre os *softwares* que permitem a análise paramétrica estão o *Rhinoceros* e os *plugins* *Grasshopper* e *Ladybug*. O *Rhinoceros* surgiu nos anos 1990 nos Estados Unidos e permite a execução de desenhos em 2D que, por meios de configurações, se transformam em visualizações 3D. Ele tem como função a visualização das análises e dados, servindo como base para os outros *softwares* por meio de *plugins*. Um dos *plugins* mais conhecidos para trabalho junto ao *Rhinoceros* é o *Grasshopper*, programa que utiliza a modelagem paramétrica por meio de programação algorítmica, determinando as formas matemáticas representadas visualmente por desenhos de “pilhas” ou “baterias”, que se conectam e montam as formas vistas na interface do *Rhinoceros* (Bini, Galafassi, 2017).

No que tange às análises ambientais e energéticas, destaca-se o *Ladybug*, que é um *plugin* grátis e de código aberto para o *Grasshopper*. O *plugin* *Ladybug* pode ser utilizado para análises de temperatura, umidade, orientação dos ventos e análise solar de um determinado local, usando dados do arquivo climático (Bini, Galafassi, 2017).

Para que se pudessem realizar as análises indispensáveis a essa pesquisa, foi necessário inicialmente o acesso a arquivos que continham dados geoespaciais em forma de vetor usado por Sistemas de Informações Geográficas, como são conhecidos os *shapefiles*. Esses arquivos são abertos e podem ser baixados pelo site da própria Prefeitura de Belo Horizonte, o BH Map⁵. Todos os bairros da capital mineira possuem seus dados em formato *.shp* e podem ser acessados gratuitamente. Para processar tais informações, utilizou-se um programa de código aberto chamado *QGIS*.

Através desses dados geoespaciais e seu cruzamento com informações a respeito do tipo de cobertura das residências (inclinação e orientação) foi possível criar uma modelagem via *Rhinoceros* e *Grasshopper* e simular pelo *plugin* *Ladybug*, diversos parâmetros, tais como o comportamento térmico, energético e luminoso de um tecido urbano.

⁵ <http://bhmap.pbh.gov.br/>

3.6.1 Configuração de QGIS

A modelagem computacional iniciou-se com o *software* QGIS, que utiliza um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto, licenciado conforme a Licença Pública Geral GNU. O aplicativo funciona em *Linux*, *Unix*, *Mac OSX*, *Windows* e *Android* e suporta inúmeros formatos de vetores, *rasters* e bases de dados e funcionalidades. A versão utilizada para a pesquisa foi a 3.30.2. O *software* pôde ser baixado diretamente no site da empresa⁶. Após a instalação do aplicativo algumas funcionalidades foram habilitadas, como a “Ferramentas de vetorização”, barra de “Ferramentas de vetorização avançada” e “Ferramentas de aderência”. Também foram instalados alguns complementos diretamente do aplicativo, como o *QuickMapServices* e o *Speckle*. O primeiro possibilitou a visualização simultânea ao *Google Satellite*, e o Segundo permitiu o envio e recebimento de dados a partir de múltiplas fontes com diversas camadas no projeto e suas geometrias.

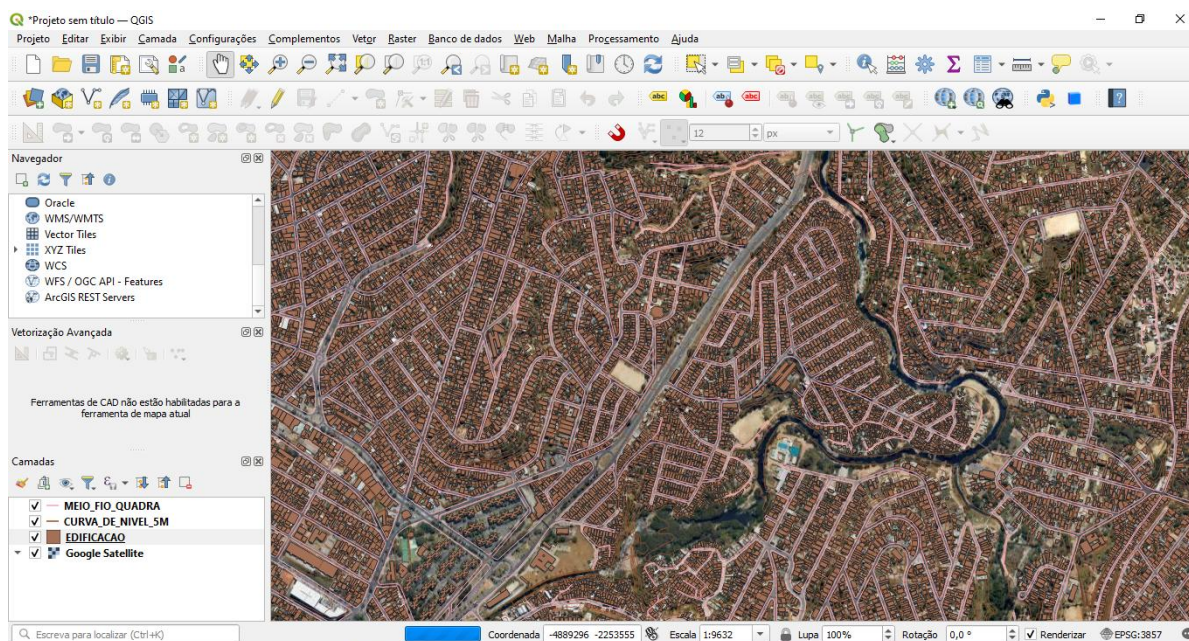
Para o acesso à base de dados de Belo Horizonte, a PBH disponibilizou os arquivos “*shapefile*”, que são um formato de armazenamento de dados de vetor para armazenar a posição, forma e atributos de feições geográficas. Para este trabalho, três camadas foram utilizadas e obtidas pelo site BHMap, que foram CURVA_DE_NIVEL_5M, EDIFICACAO, MEIO_FIO_QUADRA.

Com o QGIS configurado conforme informado anteriormente, as três camadas foram arrastadas para a tela e a imagem obtida sobrepôs os *shapefile* e o *Google Satellite*. A Figura 20 demonstra a tela com o bairro Novo Aarão Reis.

O próximo passo foi a criação de camada. Como a pesquisa girou em torno das edificações do bairro, criou-se a camada EDIFICACAO. Para tanto, clicou-se em Camadas > Criar nova camada > Nova camada Shapefile. Também escolheu-se o local de salvamento do projeto e definiu-se o tipo de projeção cartográfica (SIRGAS 2000). Nas Propriedades da camada criada foi possível alterar a cor e transparência da mesma, conforme Figura 21.

⁶ <https://qgis.org/en/site/>

Figura 20: Imagem do QGIS com sobreposição do *shapefile* sobre o bairro Novo Aarão Reis



Fonte: Autor.

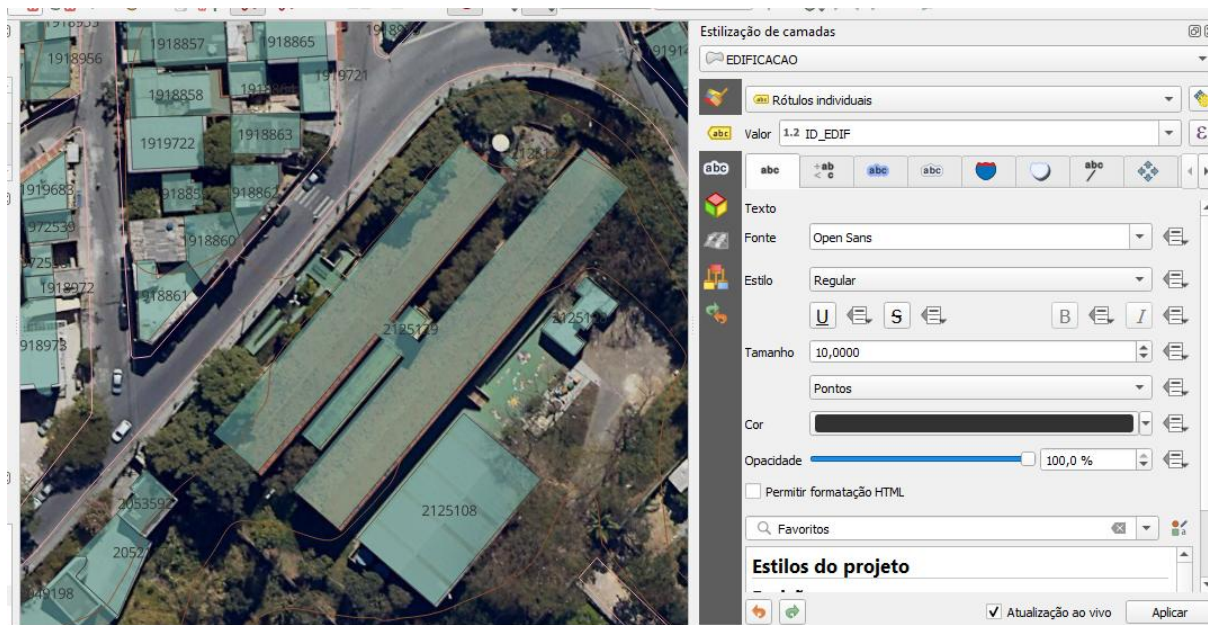
Figura 21: Camadas criadas sobre o bairro Novo Aarão Reis



Fonte: Autor.

O passo seguinte foi a notação de etiquetas que puderam identificar cada uma das edificações na camada criada fazendo com que elas possuíssem um número exclusivo. Para isso, na camada EDIFICACAO, marcou-se a opção “Mostrar etiquetas”, e em “Opções de rotulação da camada”, selecionou-se um rótulo especial. No caso do estudo, foi utilizado ID_EDIF, que fez com que cada uma das edificações do *shapefile* da PBH tivesse uma identificação própria (Figura 22). Outras opções foram possíveis, tais como área ou cotas máximas e mínimas das edificações.

Figura 22: Etiquetas ID_EDIF sobre as edificações ao redor da EMHJS do Novo Aarão Reis



Fonte: Autor.

Na sequência, a fim de que fosse possível a identificação das características das coberturas, foram criadas divisões nas próprias edificações, referentes a cada uma das coberturas identificadas. Como uma residência podia ter mais de um tipo, foram utilizadas as funções “Alternar Edição”, “Habilitar Aderência” e “Quebrar feições”. Dessa forma, as edificações foram segmentadas pelos seus diferentes tipos de cobertura.

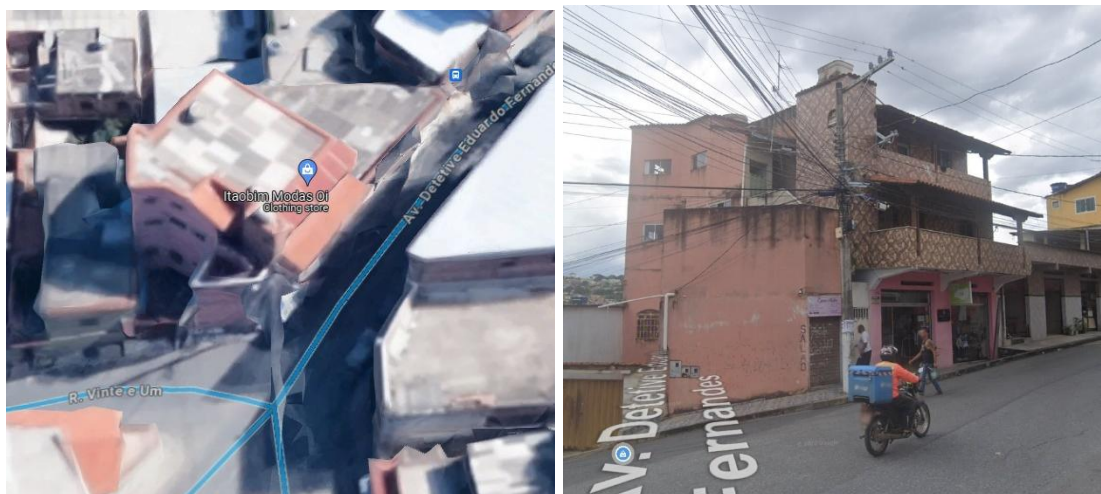
A Figura 23 (número 2045944) demonstrou a divisão de uma casa pelas diferenças no telhado, inclusive as “águas”. O mesmo número de identificação de uma edificação representou, agora, as coberturas, que podiam ser laje, telha em fibrocimento, cerâmica, metálica, entre outros. Num dos próximos passos, essas divisões foram colocadas em uma tabela *Excel*, onde a porcentagem de inclinação da telha foi relacionada à “água” da cobertura. Para auxiliar o entendimento dessas coberturas, entretanto, foi necessário a utilização do *Google Maps (Google Earth)*. O aplicativo permitiu “passear” pelas ruas ou visualizar por imagem aérea a volumetria em 3D. A Figura 24 permitiu visualizar a edificação e sua cobertura com telhas cerâmicas e de fibrocimento.

Figura 23: Edificação de ID 2045944 e as divisões por “águas”



Fonte: Autor.

Figuras 24: Edificação de ID 2045944 vista pelo Google Maps.



Fonte: Autor.

A próxima etapa foi a de colocar a inclinação das “águas” que foram separadas no passo anterior. Como o *shapefile* é georreferenciado, o arquivo possuía as cotas máximas e mínimas da volumetria. Assim, foi desenhada uma linha do beiral até a cumeeira (sempre neste sentido), que representou o cateto maior do triângulo. Para realizar essa parte, criou-se uma nova camada (INCLINA TELHADO), com o preenchimento de campos: ID_EDIF, AGUA, MATERIAL, ORIENTACAO, INCLINACAO e COMPTO (comprimento). Com a camada nova selecionada, foi utilizado o botão “Alternar edição” e “Adicionar linha”. A figura 25 demonstra a casa

2049945 com a divisão em três água (134, 135 e 136), sendo que a 134 representou a água única em telha cerâmica, e as demais (135 e 136) foram cada uma das “águas” da telha em fibrocimento.

Figura 25: Divisão em “águas” e inclinação da edificação 2049945

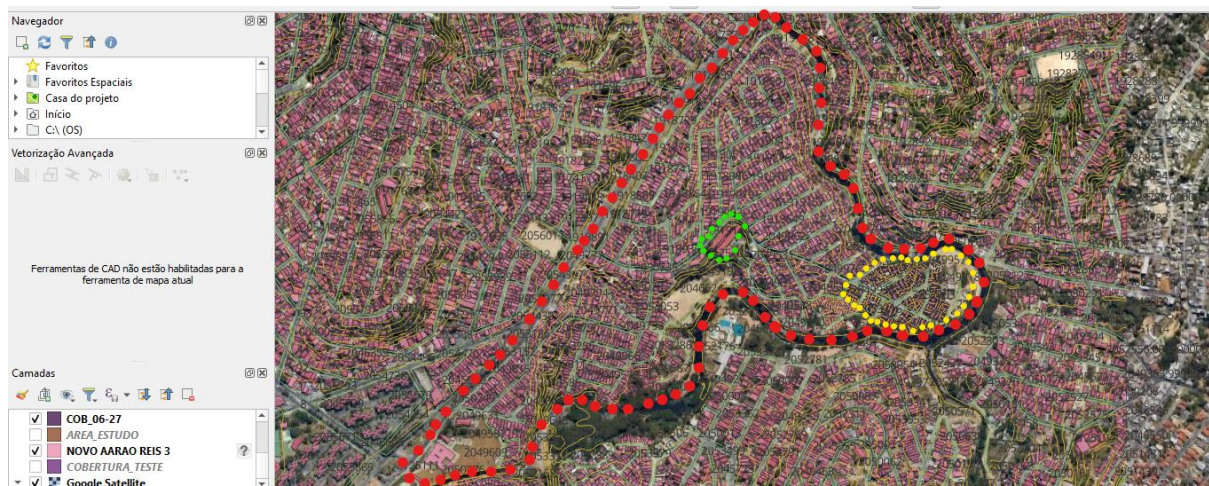


Fonte: Autor.

Para que pudesse estabelecer um limite dentro de Belo Horizonte, foi necessário realizar um recorte do mapa. A Figura 26 demonstrou (em vermelho) o Novo Aarão Reis, a EMHJS (verde), e a parte do bairro analisada (amarelo), que é o foco da pesquisa. A área total de recorte do bairro é de aproximadamente 30.000m², ou 0,03km²

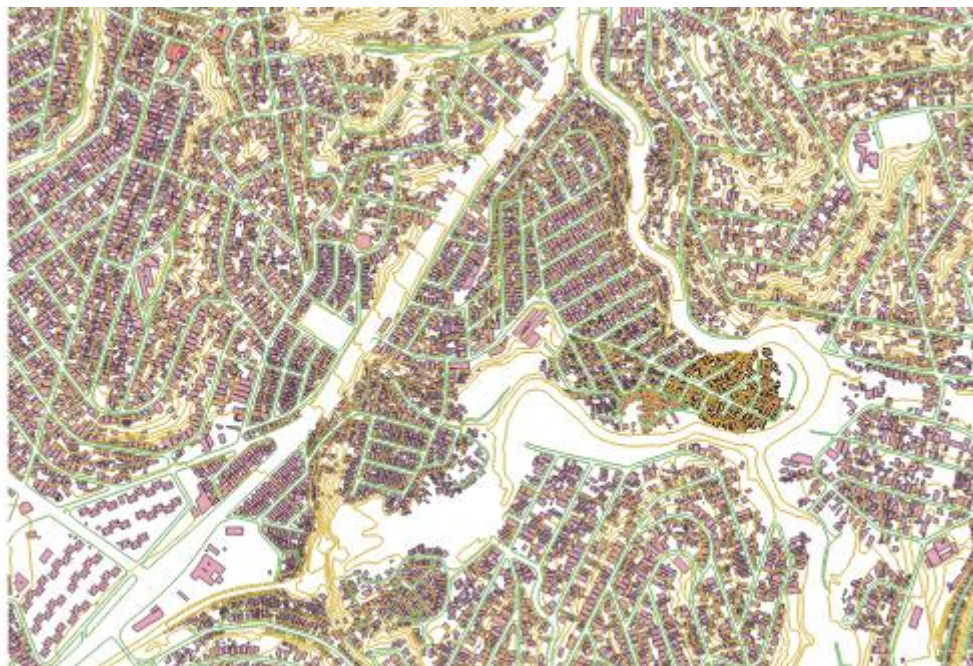
A Figura 27 mostra o recorte do bairro em parte da cidade (sem a imagem de satélite). Para obter esse recorte foram utilizadas as ferramentas “Feições através de polígonos” e “Adicionar Polígono”. Com “Ativar ferramentas avançadas de vetorização”, criou-se um retângulo com a região desejada. Para melhor definição do tamanho, foi colocado em “d” a distância em metros, e em “a” o ângulo para o retângulo, ex: 90 ou 270. Por fim, para recortar, Processamento > Caixa de ferramentas > Recortar. Em Entrada, colocou-se a camada total, e em Saída, a do recorte.

Figura 26: Áreas de análise: Pontos amarelos indicam o limite de estudo no bairro.



Fonte: Autor.

Figura 27: Áreas de análise: Recorte do Novo Aarão Reis.



Fonte: Autor.

Essa parte da análise do *QGIS* foi posteriormente associada ao *Rhinoceros*, *Grasshopper* e *Ladybug*. Juntamente com os dados lançados em tabela Excel, as informações necessárias para análise do PVT foram simuladas.

3.6.2 Planilha Excel

Com a base do *QGIS* preparada, as informações foram passadas manualmente para o Excel. Cada uma das edificações que tiveram suas coberturas analisadas

foram catalogadas na planilha eletrônica com a divisão por águas. Por exemplo, a casa da figura 25 (2049945) possuía uma “água” para cerâmica, e duas para fibrocimento. Portanto, no *Excel* houve a coluna A para o número da edificação na planilha; a coluna B para o número da edificação do *shapefile*; a coluna C para número da “água”; coluna D para o tipo de telha, separado por cerâmica, fibrocimento, metálica, laje e solo. Coluna H para a inclinação da telha (30% para cerâmica, 10% para fibrocimento; 7% para metálica; e 1% para as demais). Conforme figura 28:

Figura 28: Recorte planilha Excel para análise de águas

	A	B	C	D	H	I
1		LEVANTAMENTO NOVO AARÃO REIS			CERÂMICA	METÁLICA
2		EDIFICAÇÃO	IDENT	TIPO	FIBROCIMENTO	
3	1	2052903	1	CERÂMICA	30	
4			2	FIBROCIMENTO	10	
5			3	FIBROCIMENTO	10	
6	2	2046806	1	FIBROCIMENTO	10	
7	3	2049937	3	LAJE	1	
8			2	FIBROCIMENTO	10	
9			1	FIBROCIMENTO	10	
10	4	2049936	1	FIBROCIMENTO	10	
11			2	FIBROCIMENTO	10	
12			3	FIBROCIMENTO	10	
13			4	FIBROCIMENTO	10	

Fonte: Autor.

O estudo analisou 389 edificações. Como veremos nos resultados, estimou-se que a população do Novo Aarão Reis seja de 4.643 domicílios (Astis, 2023), ou seja, as residências verificadas através do *QGIS* girou em torno de 8,4% das edificações do bairro.

O resultado da planilha foi inserido no *plugin Grasshopper* na próxima etapa.

3.6.3 Modelagem *Rhinoceros*

Para as próximas etapas foi utilizado como referência o relatório de pós-doutoramento do professor Rafael Silva Brandão, realizado no PACPS, da UFMG. O trabalho “Procedimentos para avaliação de ambientes urbanos utilizando-se de modelagem paramétrica” foi realizado entre 15 de Agosto de 2022 a 14 de Agosto de 2023. O objetivo geral da investigação foi a viabilidade de se incorporar modelos de análise microclimáticas a ferramentas de análise paramétrica, principalmente o

aplicativo *Rhinoceros* e seu plugin *Grasshopper*. Para tanto, os três objetivos específicos foram: atualizar os modelos já desenvolvidos por Brandão (2009) à literatura recente e implementá-los no *Grasshopper* através da linguagem *Python*; avaliar outros modelos, como aplicativos construídos em base de código aberto (*open source*), testando os formatos de entrada e saída de dados e seu potencial de integração ao *Grasshopper*; e aplicar o modelo a uma área de estudo real (habitações do bairro Novo Aarão Reis), utilizando os resultados obtidos e medidas de campo para validação, calibragem e análise de sensibilidade (Brandão, 2023).

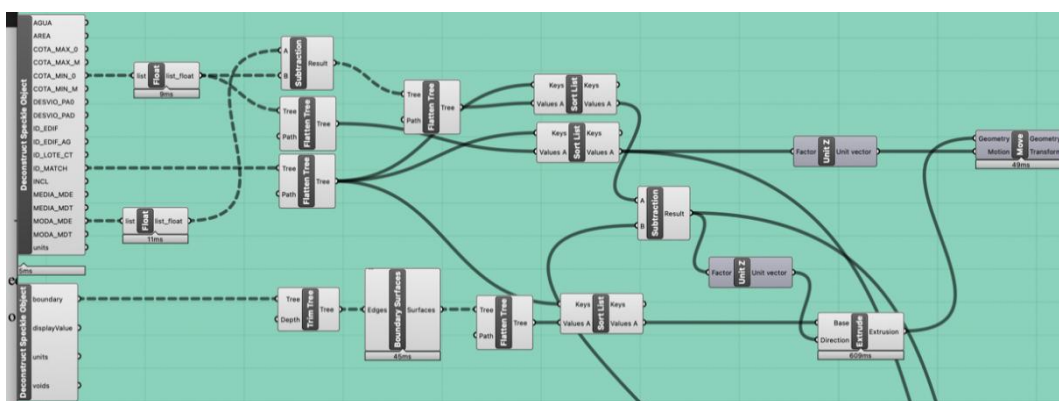
Conforme Brandão (2023), a exportação para o *Rhinoceros* foi realizada através da plataforma *Speckle*, que permitiu a comunicação de desenhos tridimensionais para vários programas, inclusive de modelagem. Nele, havia conectores para exportação de arquivos *shapefile* do *QGIS* e também de importação para o *Grasshopper*, que recebeu tanto a geometria como também as tabelas de atributos. Com isso, foi possível automatizar a conversão de bases georreferenciadas com edifícios e topografia do *QGIS* para modelos tridimensionais no *Rhinoceros*. A partir do envio da base, criou-se um *stream* (Figura 29) que ficou disponível para acesso via web.

No *Grasshopper*, o arquivo foi importado com todas as camadas, informando o endereço do modelo de forma on-line. A partir da importação, foram utilizadas pilhas para desconstruir o modelo *Speckle*, usando também filtragens. Segundo Brandão (2023),

O processo das pilhas funciona visualmente, facilitando a compreensão do arquiteto ou designer e explicitando dados de entrada e saída de cada comando, permitindo também uma customização da cadeia interna de comandos utilizando linguagens computacionais correntes, como *Python*, *C#* e *Visual Basic*. Nesse estudo, utilizaremos prioritariamente o conjunto *Rhino/Grasshopper*, por sua capacidade superior na modelagem de objetos curvos e não ortogonais.

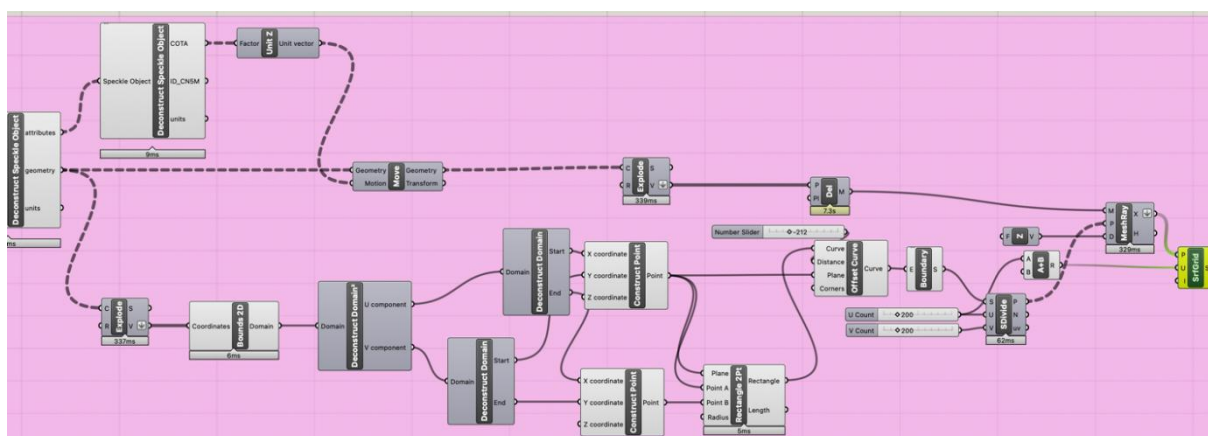
altura total da edificação, a altura da cobertura, que foi calculada em outro grupo. A modelagem das pilhas pôde ser vista nas Figuras 31 e 32. A topografia, então, foi modelada criando uma malha a partir das curvas de nível, convertidas em um *grid* regular e projetando os pontos na malha.

Figura 31 – Modelagem dos edifícios no Grasshopper



Fonte: Brandão (2023)

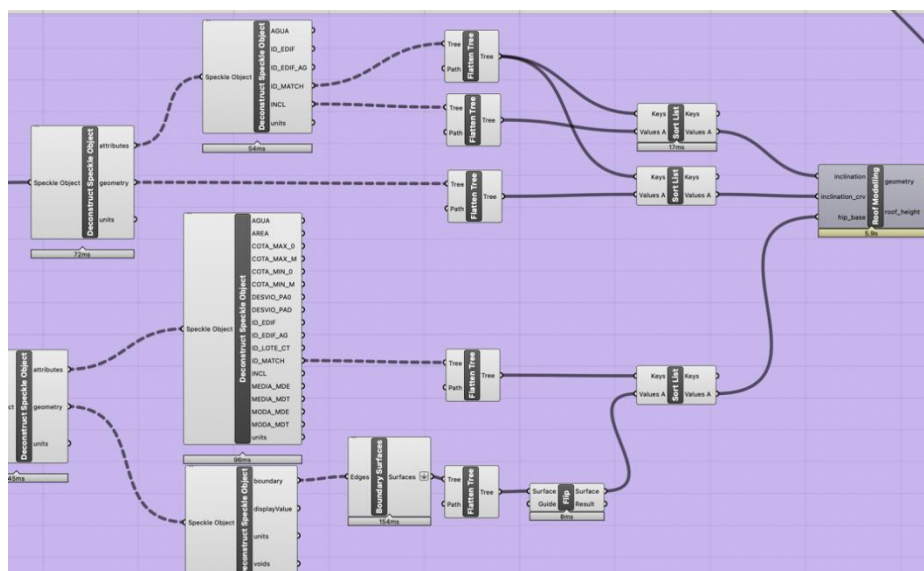
Figura 32 – Modelagem dos edifícios no Grasshopper



Fonte: Brandão (2023)

Para modelagem dos telhados, foi desenvolvido um algoritmo em linguagem *Python*. As listas de objetos e dados foram organizados a partir dos ID_MATCH e inseridos na pilha como dados de inclinação, curva de inclinação e base da “água” (Figura 33). Essas informações provêm da planilha *Excel* do item 3.4.2.

Figura 33 – Modelagem das coberturas no *Grasshopper*



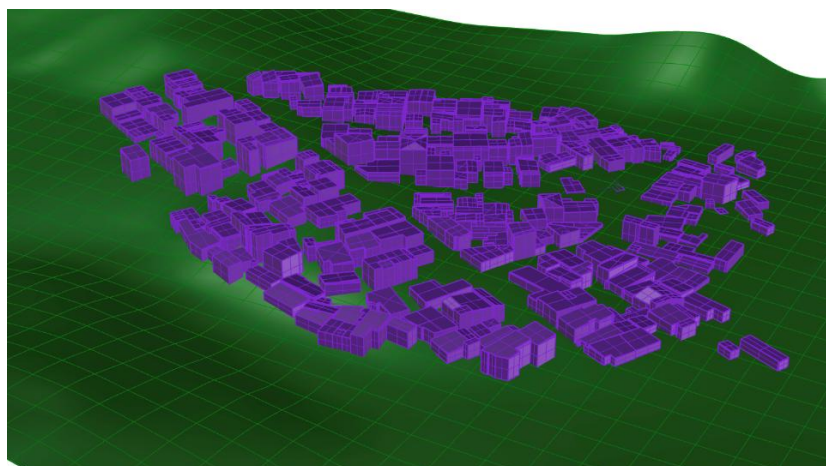
Fonte: Brandão (2023)

Sobre o algoritmo de construção do telhado, Brandão (2023) diz:

“O algoritmo de construção de telhados utiliza o tamanho da curva de inclinação e o dado de declividade para calcular a altura máxima da cobertura. O ponto final da curva de inclinação é movido no eixo Z a essa altura e a curva de base da água é extrudada na mesma direção e valor, gerando um prisma com bases planas. É então criado um plano utilizando o ponto inicial da curva, o ponto final movido e um dos vértices, que é utilizado para cortar o prisma extrudado. Por fim o prisma cortado é fechado com uma nova superfície plana”.

O *script* desenvolvido pode ser encontrado no **ANEXO A** – Código para modelagem de telhados (Brandão, 2023), e o modelo final de parte do bairro Novo Aarão Reis pode ser observado na Figura 34, abaixo.

Figura 34 – Modelagem das residências de parte do Novo Aarão Reis, no *Grasshopper*



Fonte: Brandão (2023)

Na sequência, como vê-se nos resultados, esse modelo foi conectado a algoritmos de simulação, com informações climáticas, um período estipulado de tempo para a análise e também a incidência de radiação. Dessa forma, foi investigado o potencial das coberturas.

3.7 Análise da simulação computacional

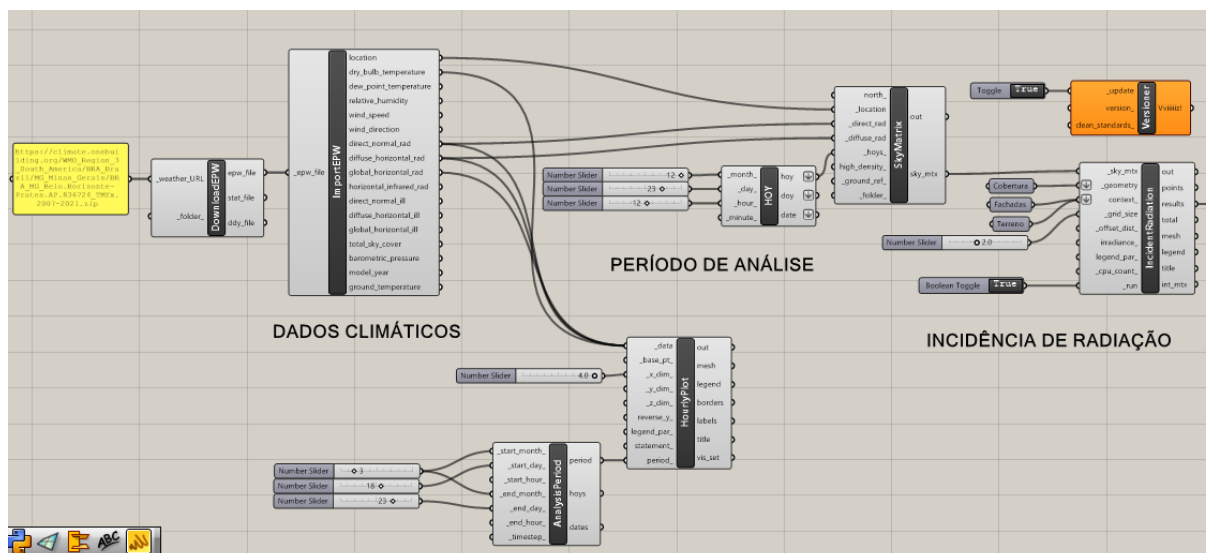
Para a simulação do potencial das coberturas das casas do Novo Aarão Reis, utilizou-se o modelo gerado em 3.7.1. Associados ao modelo, foram conectados os algoritmos de simulação, que se referiam aos dados climáticos, ao período de análise (data), e a incidência de radiação (Figura 35), conforme Brandão (2023).

Para os dados climáticos, foi preciso a obtenção da base EPW, baixado diretamente no link do *plugin Ladybug*⁷. Para a pesquisa, optou-se pela escolha dos dados do aeroporto Carlos Prates. Como não houve a necessidade de se “baixar” informações, apenas foi inserido o link do arquivo no painel do algoritmo. Utilizou-se a localização e os dados de radiação global horizontal.

Após a entrada das informações climáticas, foi inserido o período de análise. Para que a investigação avaliasse condições diversas, utilizou-se os períodos próximos de equinócios e solstícios, ou seja, um período para cada estação do ano. Solstício de Verão (21 de Dezembro), Solstício de Inverno (20 de Junho), Equinócio de Primavera (22 de Setembro) e Equinócio de Outono (20 de Março).

⁷ <https://www.ladybug.tools/epwmap/> . O *plugin* permite a importação de arquivos climáticos; confecção de cartas solares, máscaras de obstrução ou modelos de céu; visualização e processamento de dados em listas ou tabelas; cálculo de índices de conforto.

Figura 35: Algoritmo para análise de incidência de radiação utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*



Fonte: Adaptado de Brandão (2023)

De acordo com Brandão (2023), a partir dos dados climáticos, o programa cria uma matriz de céu anual, utilizando o modelo de Perez, para o período e clima desejados, utilizando o módulo *gendaymtx* do programa *Radiance*.

Para a incidência da radiação, segue-se Brandão (2023):

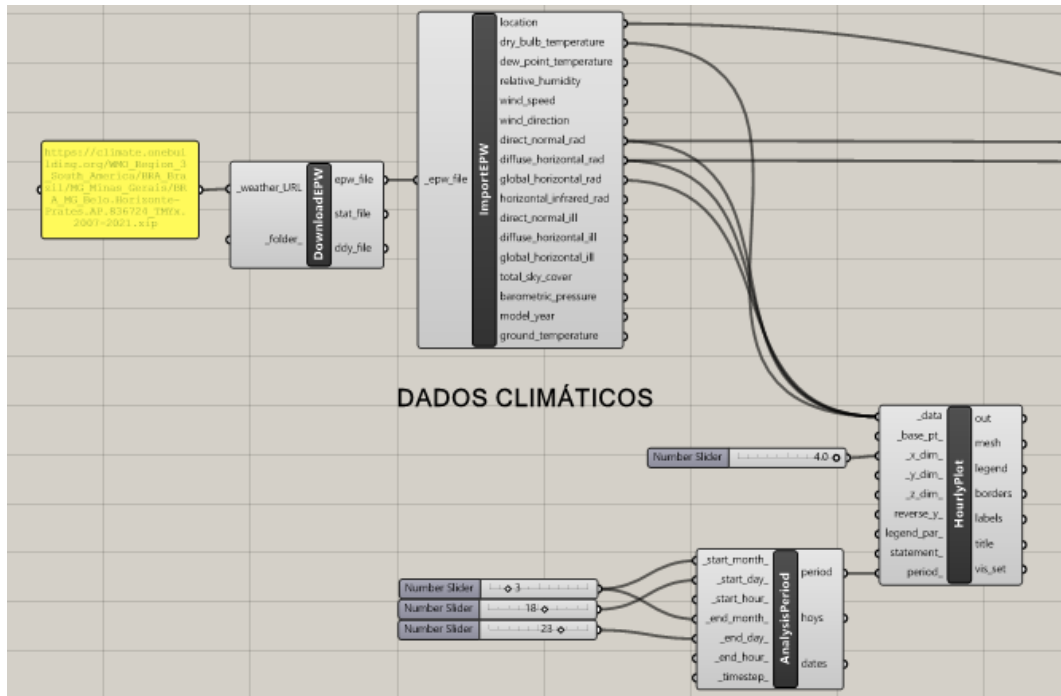
No grupo de radiação, a geometria pode ser inserida em duas categorias: os objetos conectados na entrada **geometry** serão considerados plenamente na análise, funcionando tanto como obstrução quanto como receptor de radiação, enquanto os objetos conectados na entrada **context** serão considerados na análise como obstrução, mas o algoritmo não calculará a incidência de radiação sobre esses objetos. Para que o programa funcione, é necessário inserir pelo menos um objeto na primeira entrada. A incidência de radiação é calculada para uma malha de pontos construído sobre as superfícies dos objetos inseridos na primeira entrada. A distância entre os pontos dessa malha pode ser estabelecida a partir do controle numérico identificado como “tamanho do grid”. Sugere-se investigar uma relação adequada entre a resolução da malha e o tamanho dos objetos no modelo. Como referência, é possível pensar em pelo menos três pontos de análise em cada superfície em cada sentido, ou seja, a medida de referência para a malha deve ser cerca de 1/3 do tamanho do menor objeto.

Assim, a Figura 36 demonstrou o algoritmo para dados climáticos, com importação das informações do Aeroporto Carlos Prates, e um período de seleção hipotético entre 18 e 23 de Março. (As datas utilizadas na pesquisa – equinócio e solstício – serão expostas no próximo passo). Os dados utilizados foram: temperatura de bulbo seco e as radiações direta, difusa e global.

Para o período de análise, a Figura 37 apontou um período hipotético de 23 de

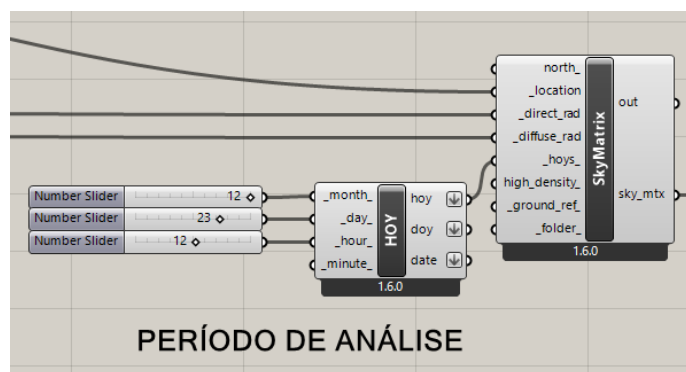
Dezembro às 12h. Os dados de entrada, além da data foram os de localização e as radiações direta e difusa. Como saída, uma matriz do céu do período especificado, para análise da incidência de radiação. A Figura 38 mostra esse dado de entrada, juntamente com as Coberturas do bairro selecionadas no *Rhino* como Geometria, e Fachadas e Terreno como Contexto.

Figura 36: Algoritmo para análise de dados climáticos utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*



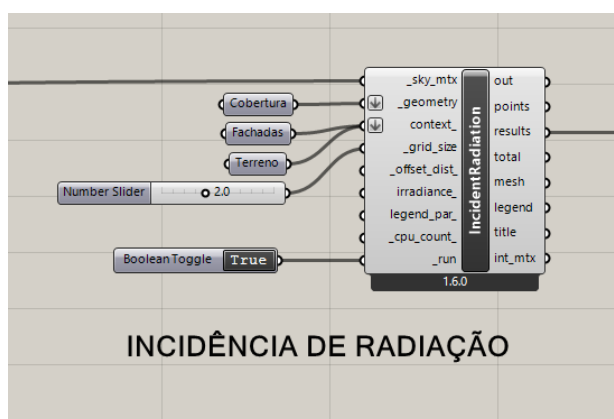
Fonte: Adaptado de Brandão (2023)

Figura 37: Algoritmo para período de análise utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*



Fonte: Adaptado de Brandão (2023)

Figura 38: Algoritmo para incidência de radiação utilizando *Rhino/Grasshopper/Ladybug*



Fonte: Adaptado de Brandão (2023)

Como resultado do período hipotético de 23 de Dezembro às 12h, tivemos a incidência de radiação na Figura 39, para as coberturas das edificações de análise do bairro Novo Aarão Reis:

Figura 39: Incidência de radiação utilizando *Rhinoceros*, a partir dos dados do *Grasshopper*.



Fonte: Autor

3.7.1 Períodos de análise climática

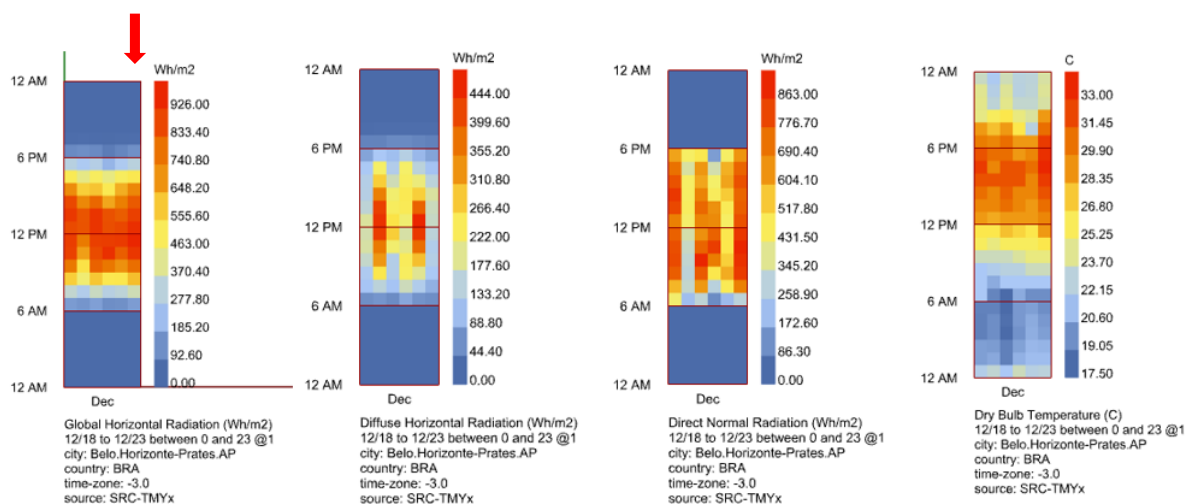
Os períodos da análise climática levaram em consideração alguns dias próximos aos solstícios e equinócios. Para a escolha exata das datas, foi selecionada uma faixa de 6 dias (aproximadamente três antes e três depois) desses eventos, pois o arquivo climático *epw* é composto por dados de meses reais, sendo importante

identificar dias com condições de radiação mais apropriadas. Como a data própria dos solstícios e equinócios pode não ser padrão para aquele período (tempo nublado demais, ou chuvoso, por exemplo), foram escolhidos os dias próximos com maior radiação global.

As figuras apresentadas abaixo demonstraram as barras da simulação dos dados climáticos relacionadas no *Grasshopper*, com os três dados de radiação, além da temperatura de bulbo seco. Cada uma dessas quatro barras possui seis colunas, que foram os dias para escolha da data. As setas em vermelho indicaram a data selecionada.

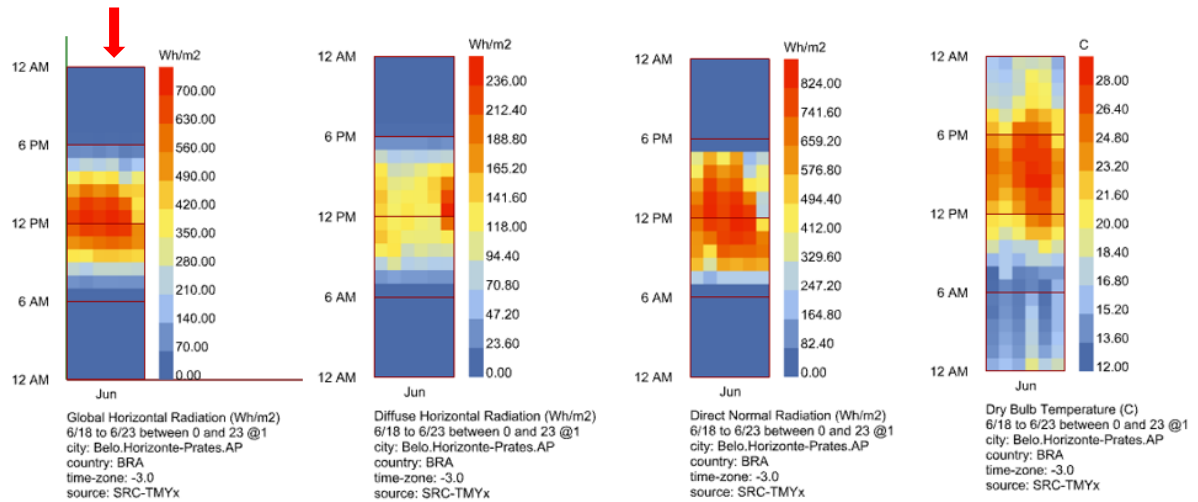
Portanto, para o solstício de verão foi selecionada a data de 23 de Dezembro (Figura 40); para o solstício de inverno, a data de 21 de Junho (Figura 41); para equinócio de primavera, o dia 20 de Setembro (Figura 42); e por fim, para o equinócio de outono, o dia 21 de Março (Figura 43).

Figura 40: Dados radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*, para escolha da data de solstício de verão.



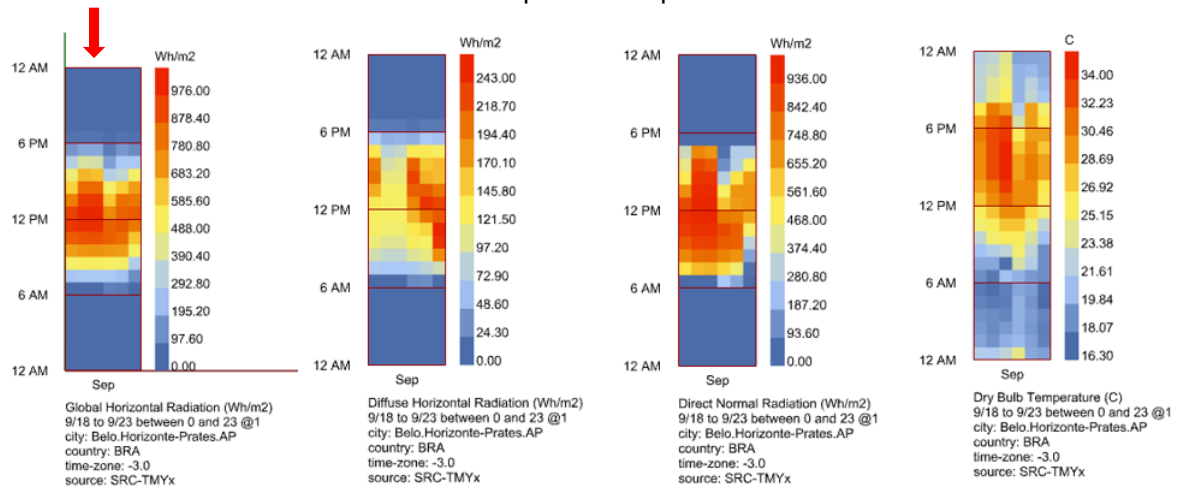
Fonte: Autor

Figura 41: Dados radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*, para escolha da data de solstício de inverno.



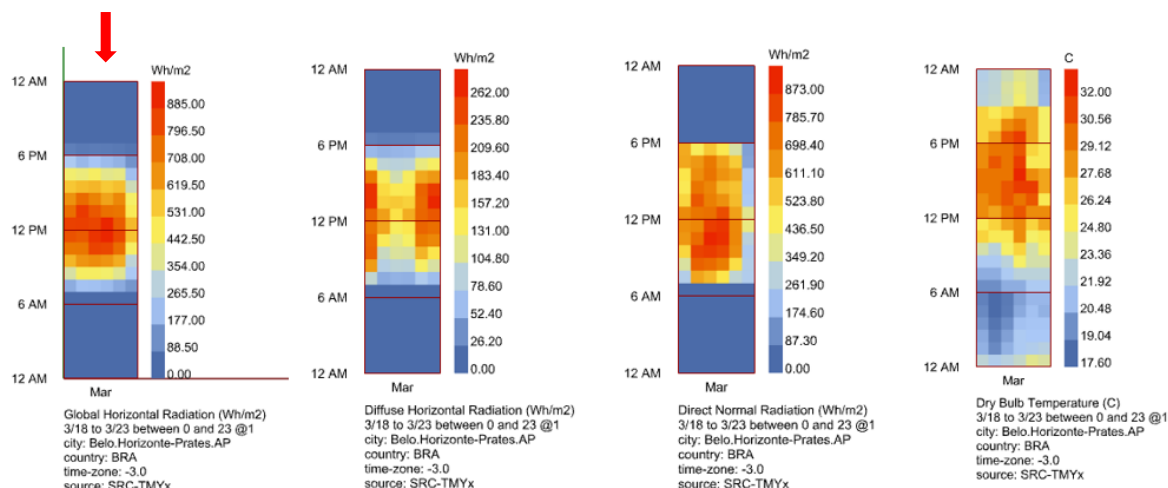
Fonte: Autor

Figura 42: Dados radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*, para escolha da data de equinócio de primavera.



Fonte: Autor

Figura 43: Dados radiação e temperatura no *Rhinoceros*, a partir do *Grasshopper*, para escolha da data de equinócio de outono.



Fonte: Autor

Com a escolha das datas, a próxima etapa foi a simulação da incidência de radiação em horários específicos, que será aplicada na etapa de Resultados, no próximo capítulo.

Para a montagem das tabelas 21 a 24 do item 4.6, sobre a incidência da radiação horária, utilizou-se para cada uma das 4 datas escolhidas as horas cheias entre 9h e 15h (horários de maior irradiância do dia). Para cada hora aplicou-se a incidência da radiação em cada um dos 18.838 pontos (informados no item 6.1), que se referem à área de cobertura. O cruzamento dessas informações apontam a média da incidência de radiação (kWh / m²).

3.8 Cruzamento de dados

A partir da realização das etapas desta metodologia, foi possível realizar uma análise crítica quanto à viabilidade de implantação do sistema PVT nas HIS, tema deste trabalho. Entendendo a metodologia como um roteiro a ser seguido, o cruzamento final das informações coletadas, após a compreensão dos referenciais teóricos utilizados, apresentou um panorama a respeito da tecnologia solar aplicada no tecido urbano, seus benefícios, assim como desafios.

Para a relação com o PVT foi utilizado o estudo de análise de eficiência de um

equipamento PVT de Procópio (2017) e também os resultados da experiência do Centro Universitário UNA e ensaios do GREEN PUC Minas, assim como outras fontes bibliográficas.

Financeiramente, foi investigada a necessidade de uma fonte que garanta os recursos necessários para instalação do sistema não só para o PVT, mas para as tecnologias que levam em consideração os aspectos da Sustentabilidade, como foi o caso do setor ESG.

4 RESULTADOS

Este capítulo é dedicado aos resultados da aplicação da Metodologia e foi dividido da seguinte forma:

- Dados populacionais do bairro Novo Aarão Reis conforme IBGE (Censo 2022) e os informados pela ASTIS - Assessoria de Tecnologia da Informação em Saúde da Prefeitura de Belo Horizonte;
- Comparativo dos dados populacionais acima e sua relação com o consumo energético conforme a literatura;
- Levantamento das condições das coberturas das moradias através de estudo realizado por alunos de Arquitetura da UFMG;
- Tabelas e gráficos dos questionários distribuídos à população local e a devida conclusão do levantamento;
- Análise da modelagem computacional.

4.1 Dados populacionais conforme IBGE (Censo 2022)

Como demonstrado na Metodologia, o “Panorama do Censo 2022” possibilitou a análise do bairro Novo Aarão Reis através de diversas características, seja pela população, domicílios, coordenadas dos endereços, entre outros. A fim de relacionar-se a comunidade ao consumo energético, 3 parâmetros foram fundamentais: população residente; quantidade de domicílios; e média de moradores por domicílio. Pelo Censo, o bairro foi dividido em 12 setores, sendo que cada um recebeu um código interno (exemplo: 310620060660344P). Para a análise foi estabelecida a ordem sequencial dos setores 1, 2, 3 e assim por diante, como demonstrado na tabela 3, abaixo. A última linha demonstra o total do bairro em cada uma das categorias.

Tabela 3 – Informações populacionais do Novo Aarão Reis conforme disponibilizadas pelo Censo 2022

Setor	População residente	Quantidade de domicílios	Média de moradores por domicílio
1	520	222	2,74
2	89	39	2,54
3	836	351	2,7
4	357	134	2,95
5	856	350	2,89
6	366	185	2,58
7	611	271	2,69
8	875	329	3,07
9	666	247	2,88
10	796	307	2,71
11	854	312	2,93
12	780	278	3,01
Total	7606	3025	2,81

Fonte: Censo, 2022 (adaptado)

4.2 Dados populacionais conforme ASTIS - Assessoria de Tecnologia da Informação em Saúde da Prefeitura de Belo Horizonte

As informações foram disponibilizadas pela assessoria da prefeitura em tabelas tipo Excel, com detalhes mais apurados de cada uma das residências em relação ao do pesquisado junto ao IBGE.

Tabela 4 – Informações populacionais do Novo Aarão Reis conforme disponibilizadas pela ASTIS

Número de habitantes	Domicílios
14.485	4.643

Fonte: ASTIS, 2023 (adaptado)

Curioso notar que esses dados não condizem com a pesquisa do IBGE para o resultado do Censo de 2022, ou até mesmo em relação ao de 2010. Comparando-se as tabelas 3 e 4, as informações da ASTIS apresentam um número de domicílios 53% maior (4.643 contra 3.025), e 90% de acréscimo na população (14.485 contra 7.606). Esses números são opostos aos dados do IBGE inclusive de levantamentos

anteriores, o qual aponta que em 2010 Belo Horizonte possuía 2.375.151 habitantes (Ibge, 2010), enquanto em 2022 o censo aponta 2.315.560 (Ibge, 2022), ou seja, houve uma redução de 2,5% na população belorizontina entre as pesquisas. Como há de se ver na próxima tabela, um fato interessante é que entre as pesquisas Ibge (2010 e 2022) e população do Novo Aarão Reis diminuiu (seguindo o padrão da cidade), mas aumentou o número de domicílios. Considerando que o *checklist* e *walk-through* apontaram para um bairro consolidado, onde não há forma de crescer horizontalmente, esse conflito de dados deve ser considerado. Entretanto, o número médio de habitantes por residência é muito próximo entre as informações, ou seja, cerca de 3 habitantes por domicílio.

4.3 Consumo energético (kWh.mês) das habitações conforme a literatura

Para o entendimento do consumo energético, conforme apontado na tabela 5, utilizou-se as informações do IBGE, em ambos os censos (2010 e 2022), assim como os dados ASTIS (2023) e fontes específicas de dados de consumo energético (Brasil, 2007; Schultz, 2021 E Procel, 2019).

Com esses valores, podemos considerar que o consumo energético do bairro Novo Aarão Reis, em 2023, levando em consideração 4.643 domicílios, 117,09 kWh.mês de consumo energético, e aproximadamente 14.485 pessoas foi de 544 MWh/mês. A área total do bairro é de 0,523km² (Belo Horizonte, 2022). Optou-se pela utilização dos dados fornecidos pela Astis (2023) pela exatidão dos números fornecidos, como, por exemplo, endereço completo e divisão dos moradores por idade e sexo. Como o Censo de 2022 ainda não divulgou os dados específicos do bairro Novo Aarão Reis, os dados do Centro de Saúde indicam ser os mais confiáveis.

Tabela 5: Dados gerais para o bairro Novo Aarão Reis, em Belo Horizonte/MG de acordo com estudos realizados, e de consumo energético para região Sudeste e Belo Horizonte/MG.

Dados gerais	Quantidade
Mulheres (Ibge, 2010)	4.190 hab.
Homens (Ibge, 2010)	4.097 hab.
População total (Ibge, 2010)	8.287 hab.
Domicílios (Ibge, 2010)	2.509
Habitantes por domicílio (Ibge, 2010)	3,3 hab./dom.
Decrescimento (Ibge entre 2010 e 2022)	2,5%
População total (Ibge, 2022)	7.606 hab.
Domicílios (Ibge, 2022)	3.025
Habitantes por domicílio (Ibge, 2022)	2,8 hab./dom.
População total (Astis, 2023)	14.485 hab.
Domicílios (Astis, 2023)	4.643
Habitantes por domicílio (Astis, 2023)	3,12 hab./dom.
Consumo conforme (Brasil, 2007)	172,90 kWh.mês
Consumo conforme (Schultz, 2021)	173,69 kWh.mês
Consumo conforme (Procel, 2019)	117,09 kWh.mês
Consumo estimado para o bairro (números Ibge, 2010 e Procel, 2019)	294 MWh.mês
Consumo estimado para o bairro (números Ibge, 2022 e Procel, 2019)	355 MWh.mês
Consumo estimado para o bairro (números Astis, 2023 e Procel, 2019)	544 MWh.mês

Fonte: Organizado pelo Autor.

4.4 Levantamento das condições das coberturas das moradias do Novo Aarão Reis

A Tabela 6 informa o quantitativo das coberturas das edificações do Novo Aarão Reis, enquanto a Figura 44 mostra o estudo de imagens com a localização da escola municipal em amarelo. As informações foram retiradas a partir de um exercício em sala de aula, dos alunos da “Oficina temática de eficiência energética e fontes alternativas de energia”, da UFMG, em 2022, conforme informado na Metodologia.

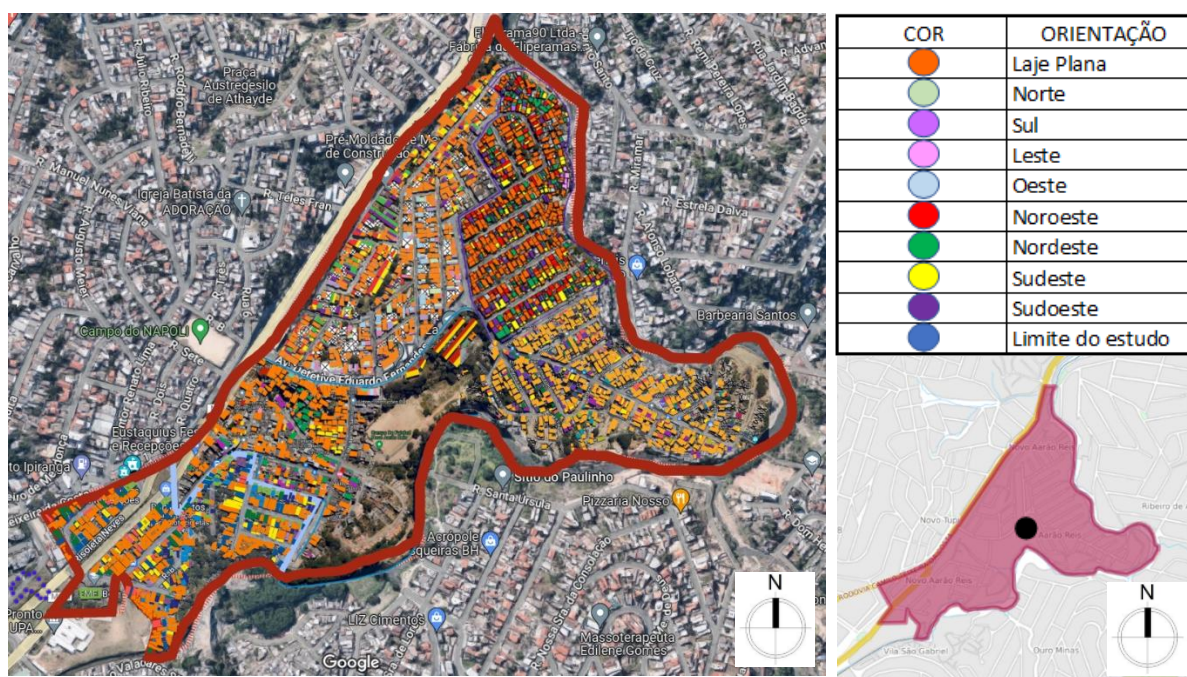
Os tipos de coberturas que potencializam a captação da radiação solar para o sistema são aquelas que têm orientações Norte, Nordeste o Noroeste, assim como a laje plana – elas somam 70,68%, ou seja, edificações que possuem as características que permitem a utilização da tecnologia solar com eficiência.

Tabela 6: Quantitativos das orientações das coberturas no entorno da EMHJS

Orientação	Quantidade (un.)	Porcentagem (%)
Laje Plana	1379	48,42%
Norte	102	3,58%
Sul	80	2,81%
Leste	89	3,13%
Oeste	95	3,34%
Noroeste	258	9,06%
Nordeste	274	9,62%
Sudeste	305	10,71%
Sudoeste	266	9,34%
TOTAL	2848	100,0%

Fonte: Autor.

Figura 44: À esquerda e abaixo, o contorno do bairro Novo Aarão Reis; à direita a região de estudo que cerca a EMHJS (círculo preto) com esquema de bolas coloridas de acordo com a orientação das coberturas; e à esquerda e acima o quadro de legendas.



Fonte: Autor.

Pondera-se, entretanto, para este estudo, que todas as edificações seguem o padrão de construção térrea e 1º pavimento, que é o típico da região, muitas vezes composta por comércio na parte inferior e moradia na parte superior. Assim, não se considerou o eventual sombreamento que uma edificação faz sobre a vizinha.

Considerando que as orientações de telhado apresentam uma configuração favorável para captação de energia, e que o consumo médio pode ser suprido e ainda gerar excedente em sistemas fotovoltaicos, verifica-se um bom potencial para o PVT.

A eficiência térmica do sistema PVT aumenta na medida em que o nível de

radiação solar também aumenta; já para a eficiência elétrica, com o aumento da temperatura, a eficiência das células fotovoltaicas é reduzida, gerando, portanto, um conflito no sistema (Lima *et al.*, 2016), conforme apontam os autores:

É interessante notar que o valor de temperatura de água na entrada do sistema afeta bastante a eficiência do PVT. Se o objetivo é obter a máxima eficiência elétrica, deve-se utilizar água a baixas temperaturas na entrada do sistema. Por outro lado, se o objetivo é aquecer a água junto à geração de energia elétrica e armazenar essa água aquecida, deve-se levar em consideração a redução da eficiência elétrica à medida que a temperatura da água de entrada aumenta (pág. 6).

Desta forma, o uso do SFV conectado à rede elétrica possibilita que a geração excedente de energia elétrica possa ser transferida para o sistema da concessionária de energia elétrica e essa quantidade seja transformada em créditos monetários. Já o uso de água quente proporcionada pelo SAST pode ser usado nos chuveiros elétricos, o equipamento de maior consumo energético nas residências, como visto na tabela 2.

De acordo com a experiência do Centro Universitário UNA e ensaios do GREEN, encontrou-se eficiência térmica dos protótipos entre 52,24% e 61,06% (Tabela 1). Ainda, de acordo com os ensaios, nota-se que a produção de energia variou entre 123,77 kWh.mês e 143,33 kWh.mês, de acordo com o modelo utilizado, para uma área externa de coletor de 1,71m². Considerando o consumo de 117,09 kWh.mês por domicílio, um módulo do sistema PVT desenvolvido pelo GREEN seria capaz de fornecer energia para uma residência, com o excedente enviado à rede da concessionária.

Ao se escalonar esse valor de 143,33 kWh.mês de um módulo PVT, para o bairro Novo Aarão Reis (valores da Tabela 4), que possui 4.643 domicílios, a capacidade de geração poderia chegar a 665,48 MWh.mês, caso todas as residências estivessem nas condições de inclinação de telhado orientado aproximadamente a Norte, ou laje plana. Como o estudo aponta que 70,68% das casas estão nessas condições, a geração seria de 470,36 MWh.mês, que corresponde a 86% do consumo do bairro, caso cada residência utilize apenas um módulo.

4.5 Tabulação do questionário respondido pelos moradores do Novo Aarão Reis

Dos 29 questionários, 4 deles retornaram incompletos. Curiosamente as questões não respondidas foram aquelas de consumo energético, as quais o

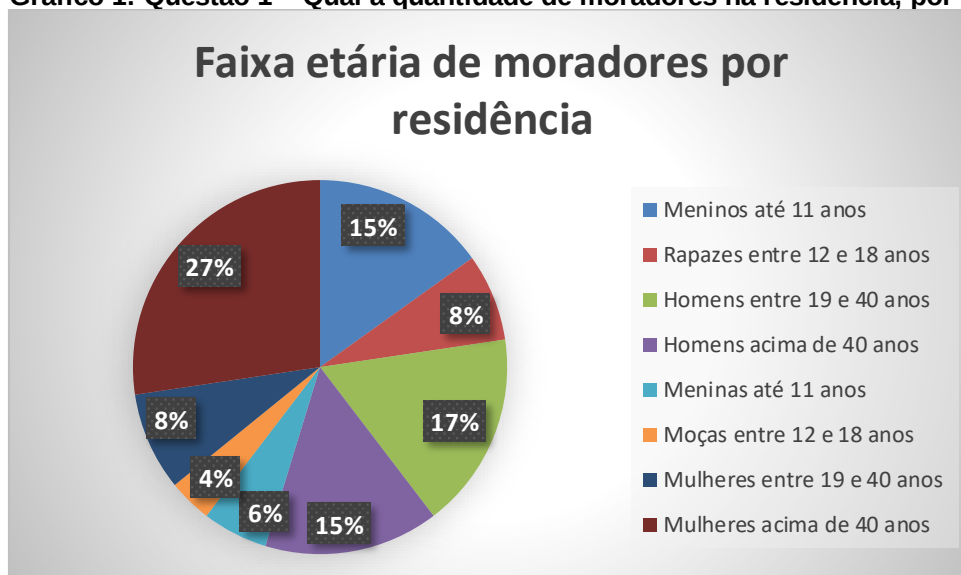
entrevistado deveria disponibilizar de mais tempo para responder. Também, há de se considerar a credibilidade de algumas respostas, em que as mesmas não foram minuciosas, como é o caso da questão 12, referente ao tempo de banho, em que eventualmente o entrevistado respondia com precisão de minutos (4, por exemplo), ou hora (1). Essa “uma hora de banho”, na verdade queria dizer que a pessoa ficava muito tempo no chuveiro, como foi informado verbalmente por entrevistados.

Seguem as respostas às perguntas com as devidas considerações.

Tabela 7: Questão 1 – Qual a quantidade de moradores na residência, por idade?

Faixa etária por sexo	Quantidade
Meninas até 11 anos	6
Moças entre 12 e 18 anos	4
Mulheres entre 19 e 40 anos	9
Mulheres acima de 40 anos	29
Meninos até 11 anos	16
Rapazes entre 12 e 18 anos	8
Homens entre 19 e 40 anos	18
Homens acima de 40 anos	16

Gráfico 1: Questão 1 – Qual a quantidade de moradores na residência, por idade?



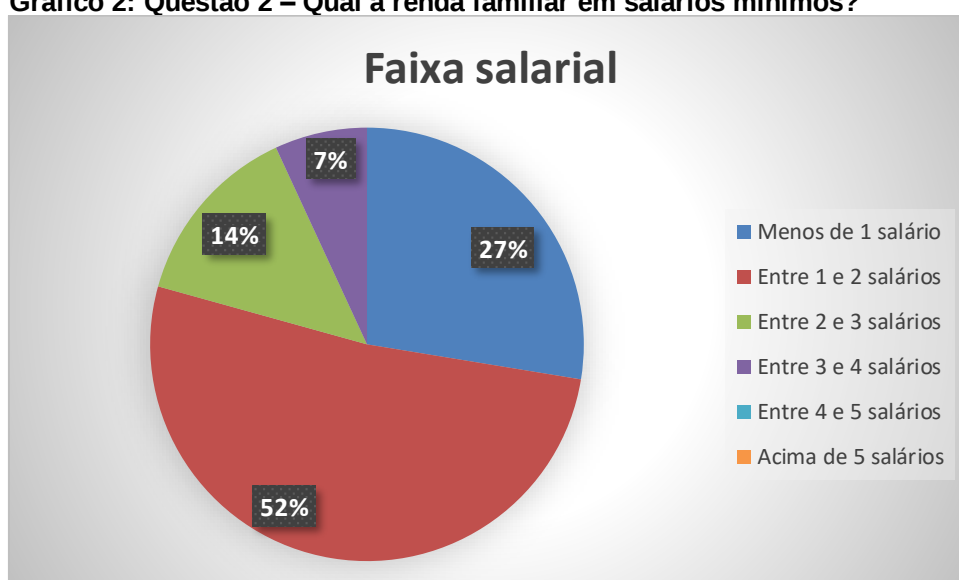
Com média de 3,65 moradores por residência, sendo a população feminina representada por 45% contra 55% da masculina, as respostas indicaram que as mulheres acima de 40 são a maioria dentro dos lares, representando uma potencial “chefia” dentro da casa, somando 27% da faixa etária. De fato, as mulheres foram as pessoas que mais responderam aos questionários, sendo na escola ou na igreja. Em seguida, com porcentagem em torno de 15%, os homens entre 19 e 40 anos, os

homens acima de 40 anos, e os meninos de até 11 anos. A população envolvida na pesquisa foi de 106 pessoas.

Tabela 8: Questão 2 – Qual a renda familiar em salários mínimos?

Faixa salarial	Quantidade
Menos de 1 salário	8
Entre 1 e 2 salários	15
Entre 2 e 3 salários	4
Entre 3 e 4 salários	2
Entre 4 e 5 salários	0
Acima de 5 salários	0

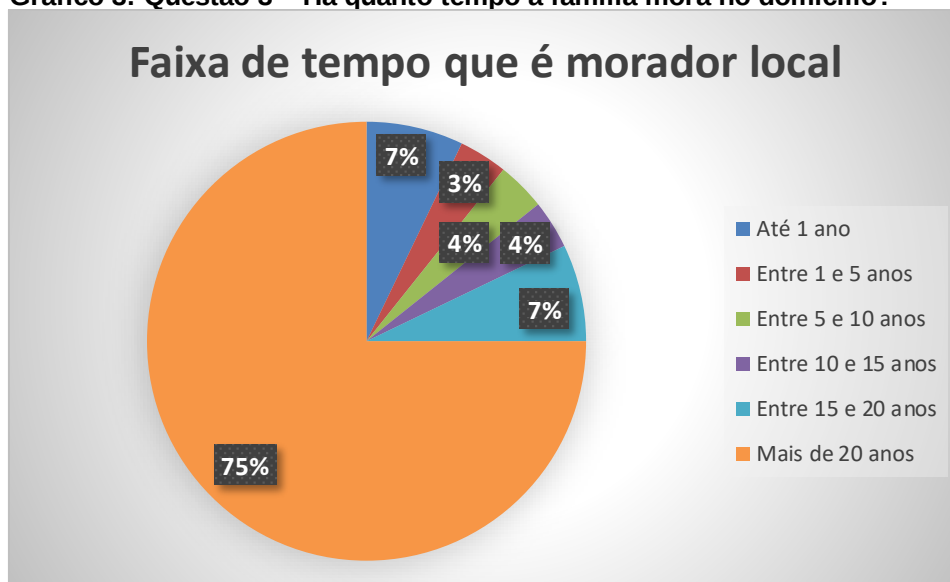
Gráfico 2: Questão 2 – Qual a renda familiar em salários mínimos?



Somando pouco mais da metade das respostas (52%), a faixa salarial entre 1 e 2 salários mínimos foi a mais respondida, condizente com a classe E. Considerando o valor de R\$1.320,00 em 2023, a família média dos entrevistados do bairro Novo Aarão Reis recebe o valor mínimo para sustento de quase 4 habitantes por residência. Ainda, quase $\frac{1}{4}$ das respostas apontaram um valor inferior a um salário, daquelas pessoas que recebem apenas o auxílio do governo. Esse dado demonstra a difícil situação financeira dos habitantes da região. Como veremos a diante, e confirmando dados já apresentados da literatura, o consumo energético é extremamente alto, principalmente em comparação com a renda. A existência de “gatos” na rede elétrica aponta a insegurança energética dessa população.

Tabela 9: Questão 3 – Há quanto tempo a família mora no domicílio?

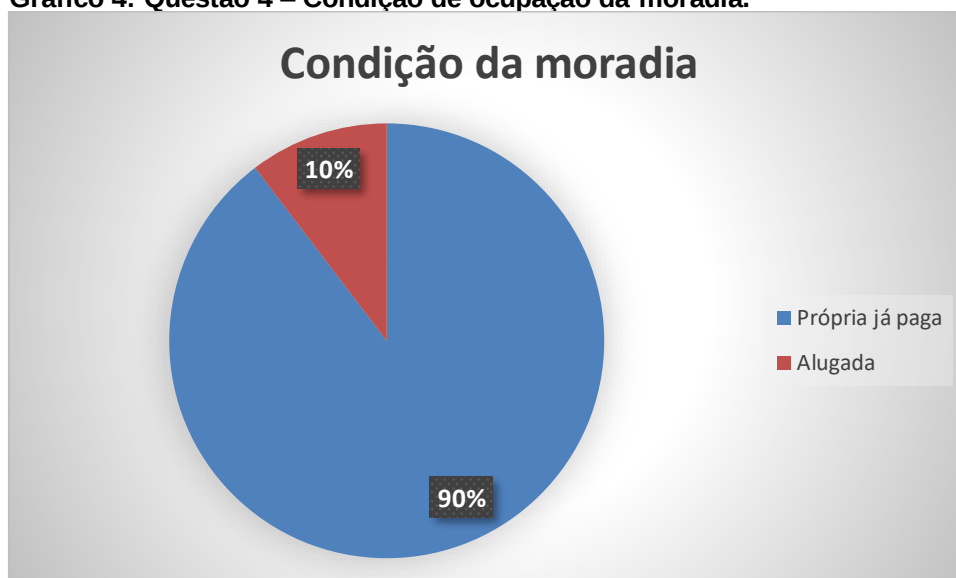
Faixa de tempo que é morador local	Quantidade
Até 1 ano	2
Entre 1 e 5 anos	1
Entre 5 e 10 anos	1
Entre 10 e 15 anos	1
Entre 15 e 20 anos	2
Mais de 20 anos	21

Gráfico 3: Questão 3 – Há quanto tempo a família mora no domicílio?

Comprovando o que já foi afirmado neste trabalho, a população do bairro Novo Aarão Reis está consolidada no local. A maioria de 75% das respostas aponta que os moradores estão no bairro há mais de 20 anos, sendo que 40% do total de todas as respostas indicou 30 anos, ou seja, no início do assentamento do bairro.

Tabela 10: Questão 4 – Condição de ocupação da moradia.

Condição da moradia	Quantidade
Própria já paga	26
Alugada	3

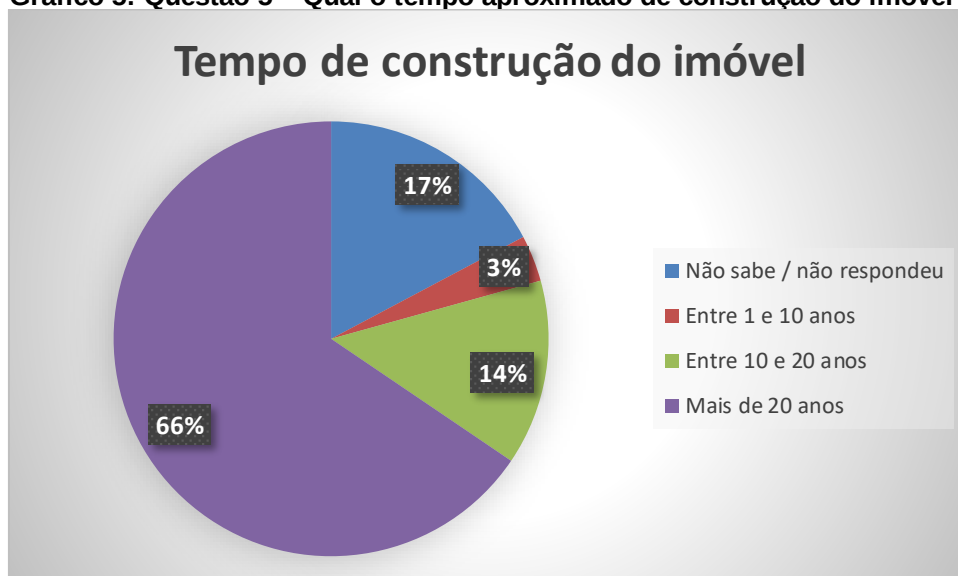
Gráfico 4: Questão 4 – Condição de ocupação da moradia.

Complementando o dado da pergunta anterior, a informação da condição da moradia aponta que 90% dos moradores possuem casa própria já paga, contra apenas 10% de aluguel. Não houve respostas referentes a financiamento ou que a família mora “de favor” sequer. Importante, ainda, complementar essa informação com o dado de que das 26 casas próprias, 20 delas foram autoconstruídas, onde o próprio morador com a colaboração de vizinhos e alguns profissionais da construção civil, executaram a casa. (Os entrevistados que responderam “autoconstruída”, também responderam “própria já paga”). As questões 3 e 4 reforçam a percepção de que o Novo Aarão Reis é um bairro consolidado.

Tabela 11: Questão 5 – Qual o tempo aproximado de construção do imóvel?

Tempo de construção do imóvel	Quantidade
Não sabe / não respondeu	5
Entre 1 e 10 anos	1
Entre 10 e 20 anos	4
Mais de 20 anos	19

Gráfico 5: Questão 5 – Qual o tempo aproximado de construção do imóvel?



Ainda sobre as moradias, esse dado aponta que 2/3 das construções possuem mais de 20 anos, segundo os entrevistados. A resposta “30 anos” foi a mais respondida, representando 1/3 das respostas totais e indicando que a maioria das construções são da época do assentamento no bairro.

Tabela 12: Questão 6 – Existe alguma atividade de renda que é realizada na moradia?

Atividade de renda na moradia	Quantidade
Em branco	17
Não	10
Costura	1
Lava e passa roupas	1

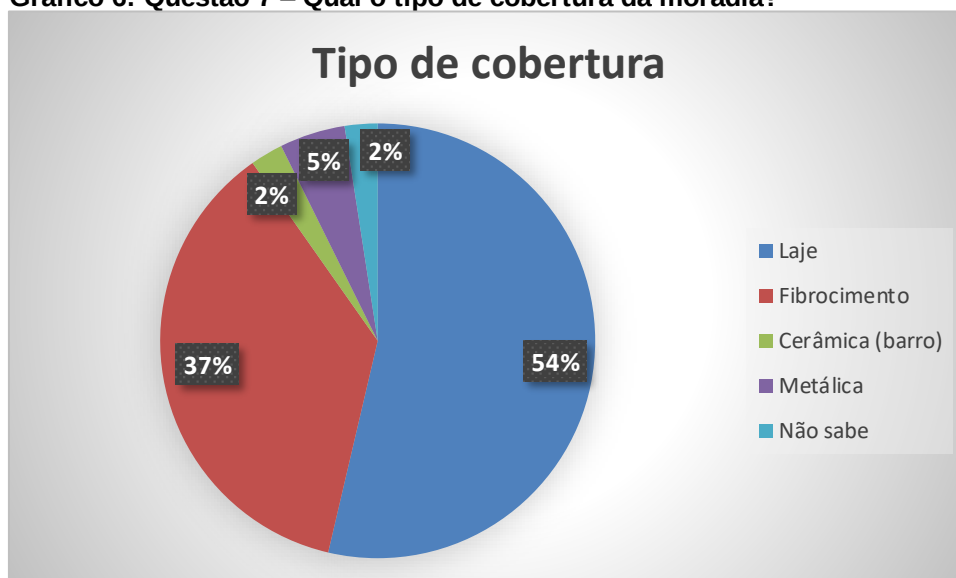
Em apenas 2 questionários a resposta foi que havia atividade de renda desenvolvida em casa, que foi de costura, ou que se lava e passa roupas para fora. Apenas essa última apontaria uma elevação significativa no consumo energético da residência, principalmente associado ao ferro de passar roupas. Proporcionalmente ao todo, é um valor bem reduzido.

Tabela 13: Questão 7 – Qual o tipo de cobertura da moradia?

Qual o tipo de cobertura	Quantidade
Laje	22
Fibrocimento	15
Cerâmica (barro)	1
Metálica	2
Não sabe	1

Como a questão possibilitava mais de uma alternativa, a combinação “laje + fibrocimento” foi marcada 10 vezes, enquanto a combinação “laje + metálica” foi marcada 2 vezes. Entretanto, para a tabela e o gráfico foi utilizada a opção sem combinações, por isso as quantidades excedem 29.

Gráfico 6: Questão 7 – Qual o tipo de cobertura da moradia?



Os resultados apontam que mais da metade das casas possuem laje, que em uma análise preliminar permitiria com maior segurança, devido à sua estrutura física, a implantação da tecnologia solar e até mesmo um direcionamento mais exato das placas solares (no caso onde não há telhas) para a orientação Norte, com auxílio da uma estrutura auxiliar. De qualquer forma, mesmo com telhas de fibrocimento ou cerâmica é possível a implantação das placas, devendo-se analisar a correta orientação.

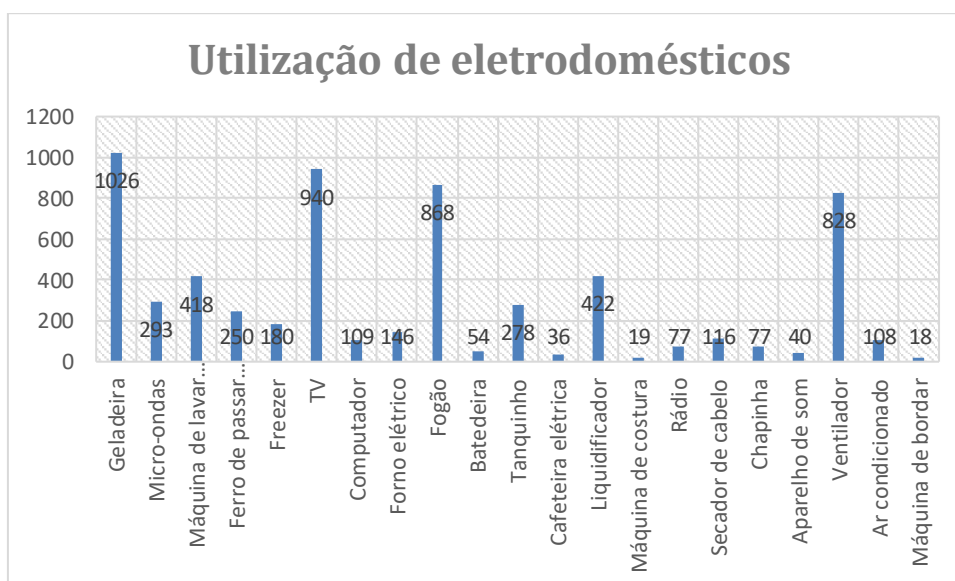
Para a próxima questão, a de número 8, os entrevistados responderam com os termos GRANDE, MÉDIA, REGULAR, PEQUENA, NENHUMA e NÃO POSSUI para os equipamentos relacionados. Para manter um valor proporcional da utilização dos equipamentos na montagem da tabela e gráficos, foram adotados os seguintes pesos: GRANDE = 36 / MÉDIA = 18 / REGULAR = 4 / PEQUENA = 1. Por exemplo, o termo PEQUENA foi utilizado para uso poucas vezes no ano (a cada 2 meses), portanto peso 1. REGULAR entre 1 e 3 vezes no mês, ou seja em torno de 4 vezes maior que PEQUENA (média de 2 vezes ao mês). MÉDIA entre 1 e 3 vezes na semana (média de 2 vezes na semana, ou 4,5 vezes maior que PEQUENA, portanto 18. GRANDE

para uso maior que 4 vezes na semana, ou seja, o dobro de MÉDIA, ou seja, 36. Para NENHUMA, ou NÃO POSSUI, peso 0. Esses pesos são proporcionais à quantidade de uso ao ano e não possuem referencial para sua adoção.

Tabela 14: Questão 8 – Quais eletrodomésticos a família possui e qual o tempo de utilização?

Equipamento	GRANDE	MÉDIA	REGULAR	PEQUENA	NÃO POSSUI NENHUMA	TOTAL
	36	18	4	1	0	
Geladeira	28	1	0	0	0	1026
Micro-ondas	5	6	1	1	16	293
Máquina de lavar roupas	3	17	1	0	8	418
Ferro de passar roupas	3	6	8	2	10	250
Freezer	5	0	0	0	24	180
TV	25	2	1	0	1	940
Computador	1	4	0	1	23	109
Forno elétrico	1	5	4	4	15	146
Fogão	24	0	1	0	4	868
Batedeira	1	0	4	2	22	54
Tanquinho	4	7	2	0	16	278
Cafeteira elétrica	1	0	0	0	28	36
Liquidificador	7	8	6	2	6	422

Gráfico 7: Questão 8 – Quais eletrodomésticos a família possui e qual o tempo de utilização?



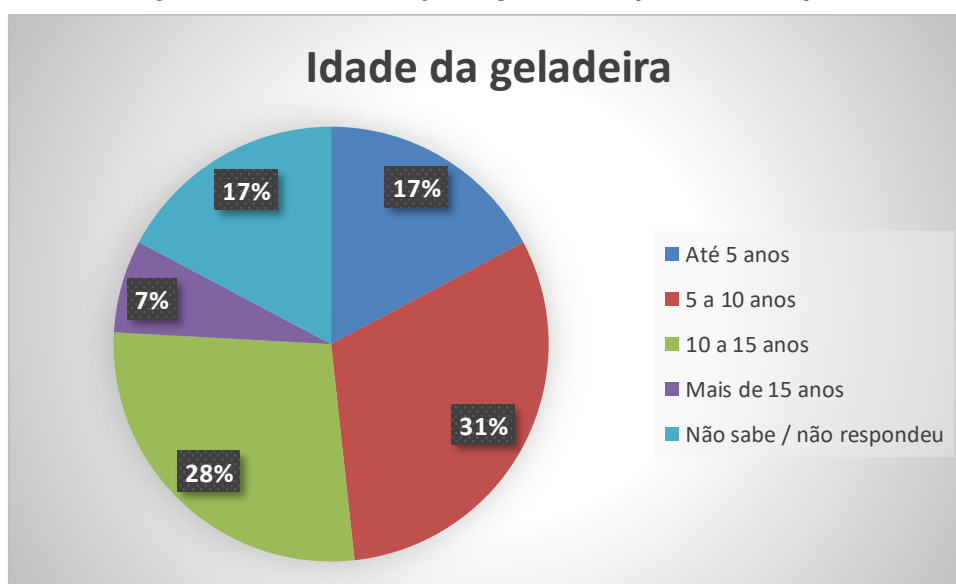
O gráfico aponta nitidamente os 4 eletrodomésticos de maior utilização nas casas do bairro: geladeira, TV, fogão e ventilador. O chuveiro não está nesta lista, pois possui questões específicas a ele, que será visto na sequência. No caso do ventilador,

pode-se atribuir seu uso elevado às altas temperaturas durante as semanas em que se realizou o estudo. A cidade de Belo Horizonte bateu recorde histórico, com 38°C em alguns dias. Uma análise de consumo energético, entretanto, leva em consideração a potência do equipamento e seu tempo de utilização. Dessa forma, a geladeira é o eletrodoméstico de maior consumo entre os apontados, uma vez que possui uma potência média que varia de 45 W dos modelos econômicos mais novos, até 150 W, dos mais antigos e está ligado durante o tempo todo. O consumo pode variar entre 40 kWh.mês a 100 kWh.mês. A título de comparação, um chuveiro elétrico de 4.400 W, em uma família de 4 pessoas, ligado durante 1h por dia, hipoteticamente, tem o consumo estimado em 132 kWh.mês. Ou seja, é necessário o entendimento dos hábitos de banho das famílias para uma avaliação mais precisa do consumo energético.

Tabela 15: Questão 9 – Com relação à geladeira, qual a idade aproximada do eletrodoméstico?

Quantos anos tem a geladeira?	Quantidade
Até 5 anos	5
5 a 10 anos	9
10 a 15 anos	8
Mais de 15 anos	2
Não sabe / não respondeu	5

Gráfico 8: Questão 9 – Com relação à geladeira, qual a idade aproximada do eletrodoméstico?



A grande maioria dos refrigeradores possuem idade entre 5 e 15 anos, sendo praticamente metade desses números, até 10 anos. Um número pouco expressivo de

7% é de equipamentos com mais de 15 anos. A maioria das geladeiras que estão disponíveis atualmente no mercado são mais econômicas, porém já era dessa forma nos últimos 5 anos, com refrigeradores que consumiam 40 kWh.mês, mesmo com capacidade de 500 L. As mais antigas, com mais de 15 anos, por exemplo, consumiam em torno de 120 kWh.mês. O gráfico aponta que o consumo dos equipamentos está em uma média de boa eficiência energética.

Importante informar que o hábito familiar no uso do refrigerador, como por exemplo o tempo de porta aberta, é essencial e possui relação direta ao consumo, entretanto, é extremamente difícil fazer esse levantamento através de questionário.

Para a questão 10, que perguntava “Qual o consumo mensal de energia dos últimos 12 meses?”, ninguém respondeu. Foi solicitado que o entrevistado colocasse em uma tabela o consumo energético dos últimos 12 meses, que consta na fatura da CEMIG, porém como as pessoas responderam ao questionário ou em sala de aula, ou no salão da igreja, não estavam em posse deste documento na hora de responder. Entretanto, 7 pessoas afirmaram fazer uso de “gato”, mesmo não tendo sido perguntado.

Tabela 16: Questão 11 – Sobre os banhos, informar a temperatura da água de acordo com as estações do ano.

Estação do anos	Água quente	Água morna	Água fria
Verão	1	8	14
Outono / Primavera	4	17	2
Inverno	14	7	2

Interessante verificar que os dados praticamente invertem-se nas estações verão e inverno. Se no verão 14 pessoas usam água fria enquanto apenas 1 utiliza água quente, no inverno 14 entrevistados tomam banho de água quente ao passo que apenas dois com água fria. Nas estações de temperaturas médias, a água morna foi a opção mais marcada. Considerando que o chuveiro é o responsável por boa parte do consumo de energia, esse dado torna-se muito importante, apontando para um maior valor da fatura nos meses mais frio, considerando que a população do bairro não utiliza o ar-condicionado e que o ventilador é um equipamento de menor potência em relação aos chuveiros.

Para a questão 12: “Sobre o uso do chuveiro elétrico, informar o tempo em

minutos, e o período que se toma banho na moradia para cada morador. Preencher a tabela para dias de semana e fins de semana”, dos 29 questionários disponibilizados, 11 não foram usados. Desses, 7 questionários foram respondidos ou de forma incorreta, ou incompletos, ou até mesmo em branco. Os outros 4 questionários não foram usados, pois o tempo de banho informado foi a partir de 1 hora, chegando até 2 horas. Em conversa com os entrevistados, esse valor de 1 hora, por exemplo, referia-se a um banho longo, não necessariamente com 60 minutos de duração ou mais. Pela falta de exatidão dessas respostas, preferiu-se deixá-los de lado.

Tabela 17: Questão 12 – Quantidade e tempo de banho durante dias de semanas:

Horário	Quantidade de banhos	Tempo médio de banho
Antes das 6h	16	7'20"
6-11h	21	10'30"
11-14h	4	9'30"
14-17h	4	5'45"
17-19h	11	10'
19-21h	30	12'40"
Depois das 21h	13	9'30"

Total de 99 banhos

Tabela 18: Questão 12 – Quantidade e tempo de banho durante finais de semanas:

Horário	Quantidade de banhos	Tempo médio de banho
Antes das 6h	9	5'45"
6-11h	24	8'45"
11-14h	7	8'
14-17h	9	5'50"
17-19h	9	17'
19-21h	27	10'10"
Depois das 21h	13	11'

Total de 98 banhos

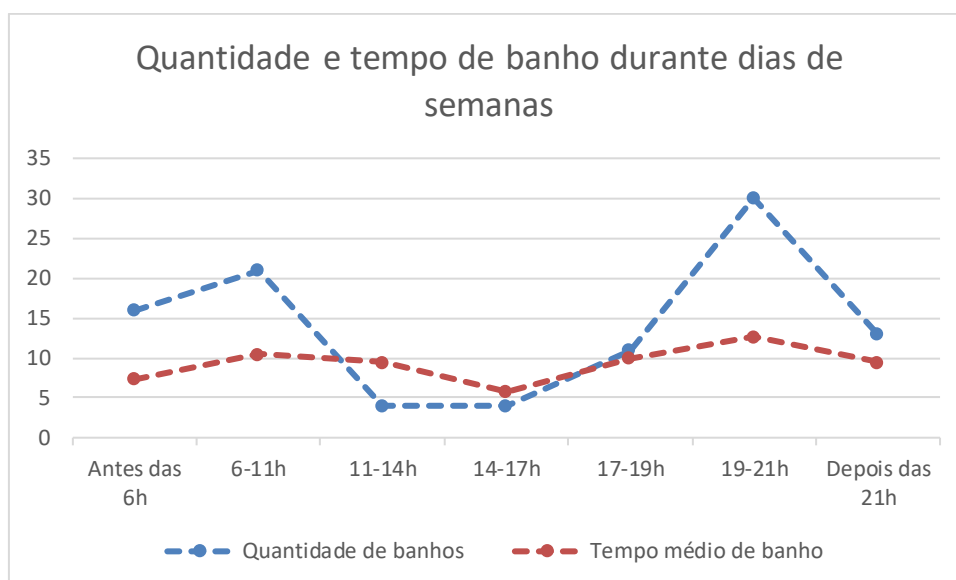
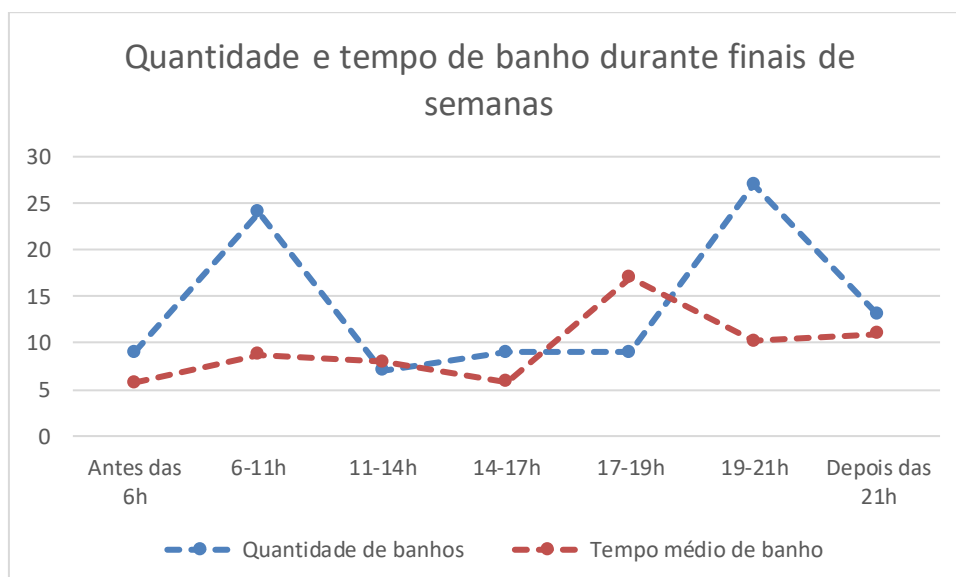
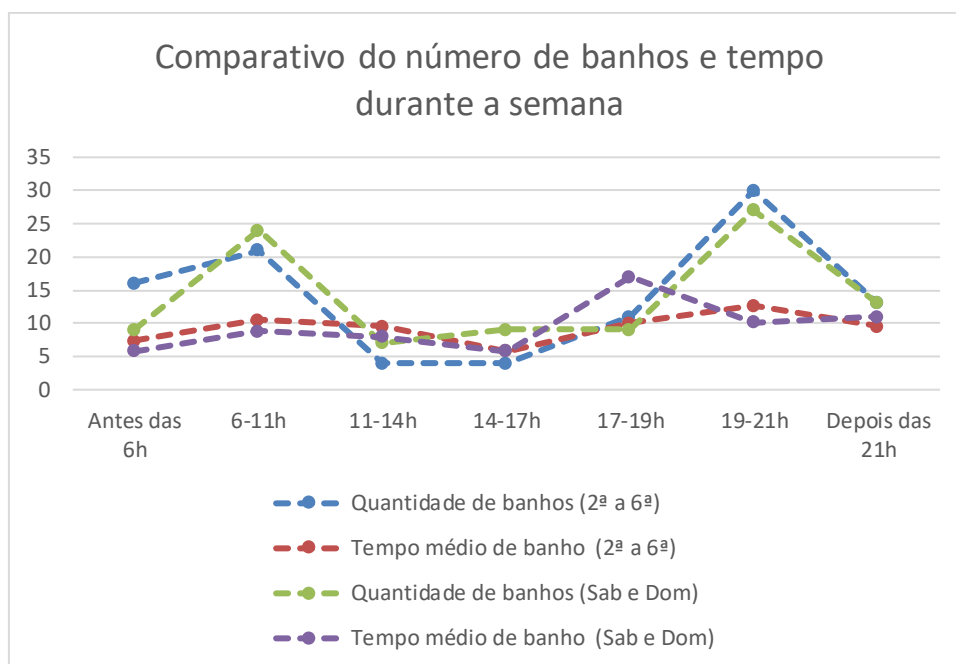
Gráfico 9: Questão 12 – Quantidade (eixo Y) e tempo de banho (eixo X) durante dias de semanas:**Gráfico 10: Questão 12 – Quantidade (eixo Y) e tempo de banho (eixo X) durante fins de semanas:**

Gráfico 11: Questão 12 – Comparativo da quantidade (eixo Y) e tempo de banho (eixo X) durante a semana:



Uma análise inicial dos gráficos aponta que os banhos durante os dias de semana e de finais de semana são praticamente iguais e, de fato, comentários dos entrevistados afirmando que a frequência e tempo não mudava muito foi frequente. É possível notar dois momentos durante o dia em que a quantidade de banhos se sobressai em relação à média. O período da manhã, entre as 6 e 11 horas e o período da noite (sendo este o principal dos gráficos), entre 19 e 21 horas, são os períodos em que os entrevistados apontaram que mais tomam banhos em seus domicílios. De fato, esses períodos de maior quantidade de banhos condizem com a saída para o trabalho durante a manhã e o banho antes de dormir, à noite. O tempo de banho, que em geral fica entre 5 e 10 minutos, também é maior no banho noturno, que ficou entre 10 e 15 minutos. Portanto, em uma apreciação inicial podemos dizer que o consumo energético no período entre 19 e 21 horas é potencialmente maior nas residências do bairro Novo Aarão Reis tanto devido ao número de banhos quanto sua duração, mas também em função do número de pessoas que estão em casa neste horário consumindo energia elétrica. Por outro lado, o período entre 11 e 17 horas é o de menor quantidade de banhos, assim como são os banhos mais rápidos. Considerando que neste horário muitos dos moradores estão em seus trabalhos, fora de casa, o consumo energético tende a ser menor.

Para a pergunta 13: “Qual a quantidade de lâmpadas acesas em cada ambiente e durante quanto tempo do dia”, o resultado foi tabulado de forma a encontrar o consumo médio diário das lâmpadas. Fato interessante é que há alguns poucos anos, conforme relatado pelos moradores, a CEMIG visitou as residências do Novo Aarão Reis e efetuou a troca das lâmpadas existentes pelas de LED, que são mais econômicas. Por isso, dos 21 questionários respondidos corretamente para esta questão, 20 deles as lâmpadas foram de LED e apenas 1 com lâmpada incandescente. 4 questionários foram respondidos de forma errada e 4 retornaram em branco.

Para a tabela foi considerado o somatório de todas as horas que as lâmpadas ficam acessas e a potência média de acordo com o modelo (LED ou incandescente).

Tabela 19: Questão 13 – Qual a quantidade de lâmpadas acesas em cada ambiente e durante quanto tempo do dia.

Tipo de lâmpada e potência média	Horas diárias acessas	Consumo médio (Wh.dia)
LED (15 W)	327	245,25
Incandescente (100 W)	15	1500

O programa da CEMIG responsável pela troca de lâmpadas residenciais pelas de LED foi de grande importância, sabendo-se, por exemplo, que uma lâmpada fluorescente tem potência média de 32 W, enquanto a de LED, 15 W. Para uma iluminação que o morador entende como satisfatória, o consumo das lâmpadas pode ter caído pela metade. Considerando o consumo mensal das lâmpadas do questionário (254,25 Wh x 30 dias), chegamos ao resultado de 7,63 kWh.mês. De acordo com PROCEL, 2019, em que o consumo médio de uma residência classe D e E no Sudeste é de 117,09 kWh.mês, temos que as lâmpadas são responsáveis por 6,5% do consumo. A título de comparação, uma geladeira econômica com selo PROCEL A, de consumo mensal 39,9 kWh.mês, seria responsável por 34% da energia residencial.

Tabela 20: Questão 14 – A moradia possui caixa d’água?

Casa com caixa d’água?	Resposta
SIM	23
NÃO	1
Em branco	5

A grande maioria das moradias possui caixa d’água. Essa confirmação indica

um favorecimento em relação à implantação de uma tecnologia que utilize o Sol no aquecimento de água e também na geração de energia elétrica.

4.5.1 Considerações ao questionário

Com as respostas do questionário foi possível traçar um panorama da população do bairro Novo Aarão Reis. Mesmo ele refletindo apenas parte da população local, uma vez que a população apresentada no questionário soma 106 indivíduos, o levantamento indica respostas médias padrões com a bibliografia já apresentada neste estudo no que se refere à classe social e seu consumo energético.

Foi apontado que as mulheres acima de 40 anos são a maioria nos lares do bairro, indicando uma chefia por parte delas, exercendo liderança no controle do gasto energético (comandando tempo de banho, por exemplo), mesmo o sexo feminino representando 45% do total. A renda mensal entre 1 e 2 salários mínimos indica que a classe E (até 2 salários) é predominante na região. Ainda, esses moradores estão há mais de 20 anos em suas casas (em maioria autoconstruída), indicando tratar-se de um bairro popular e consolidado da capital mineira. Praticamente não é exercida atividade comercial dentro das casas, demonstrando o caráter residencial do Novo Aarão Reis.

As casas em sua maioria possuem laje ou telhas em fibrocimento, com ambas associadas. Essa característica demonstra que estruturalmente há um potencial para implantação da tecnologia solar nas coberturas das residências. Um fato importante é que o crescimento do bairro tem se dado verticalmente nos últimos anos, uma vez que não há espaço físico para expansão horizontal. Assim, como as casas possuem laje, um novo morador (familiar que se casa, por exemplo), acaba morando no mesmo terreno, no andar de cima. Essa dinâmica foi comentada pelos entrevistados e o caráter “consolidado” falado anteriormente, refere-se ao morador que permanece no bairro, porém o bairro ainda cresce. Essa movimentação não comprometeria, a princípio, a implantação de uma tecnologia solar, que pode ser remanejada, de acordo com a necessidade, mas também tem suas especificidades para que seja eficiente.

Em relação ao consumo energético, temos o chuveiro como principal consumidor. Levando em consideração os 106 entrevistados em 29 casas, a média de habitantes por moradia está em 3,65, que é próxima a média brasileira. A média é de 1 banho diário, com duração próxima a 10 minutos. Ou seja, temos 3,65 moradores

em cada casa, que tomam 1 banho de 10 minutos por dia. Se um chuveiro elétrico tem potência média de 4.400 W, serão 79,2 kWh.mês de consumo energético apenas para o chuveiro. Uma geladeira econômica, como mencionado tem consumo próximo a 40 kWh mensais. O valor para o consumo das lâmpadas – em sua maioria LED – foi de 7,63 kWh no mês. Esse total (chuveiro + geladeira + lâmpadas) está em 126,73 kWh.mês. Mesmo não considerando os demais consumos (TV e demais equipamentos), essa média está acima do valor referencial da PROCEL, 2019, que é de 117,09 kWh.mês, porém abaixo de outras fontes (Brasil, 2007 e Schultz, 2021), que é de 172,90 kWh.mês e 173,69 kWh.mês, respectivamente. Ou seja, o valor médio de 120 kWh.mês, conforme mencionado nas duas últimas fontes acima, é razoável para o bairro Novo Aarão Reis, sendo o valor adotado nesta pesquisa.

Assim, a tecnologia do estudo, PVT, que consegue levar água quente aos chuveiros da população, no horário em que elas precisam, afinal o boiler consegue manter a água aquecida do dia todo em seu interior, e também considerando que o PVT gera energia para os equipamentos elétricos, podemos verificar um potencial de exploração dessa tecnologia no bairro Novo Aarão Reis.

4.6 Análise da simulação computacional – Incidência de radiação horária

Conforme apontado no item 3.7.1, a região de estudo possui aproximadamente 30.000m² entre casas, ruas, calçadas e área permeável. O *software QGIS* indicou que apenas as coberturas somam 18.838m².

Para a avaliação da incidência de radiação nas coberturas, o período de análise escolhido é das horas “cheias” entre 9h e 15h de cada uma das 4 datas selecionadas do ano. A Figura 44, por exemplo, demonstrou visualmente a incidência da radiação do dia 23 de Dezembro às 12h, no *Rhinoceros*. Para maior exatidão das informações, entretanto, o *Grasshopper* possibilita a leitura dos dados de forma numérica para cada um dos pontos das coberturas (grid). Esses números são, então, copiados para uma tabela *Excel*. Como resultado, temos os quatro dias selecionados do ano com suas sete horas de análises diárias de incidência de radiação, dadas por kWh / m², para cada ponto de grid das coberturas do bairro.

Abaixo, as Tabelas 21, 22, 23 e 24 indicam a incidência da radiação nas coberturas, em kWh / m², de 10 pontos aleatórios, de um total de 18.838, para cada uma das quatro datas escolhidas, para o período entre 9h da manhã e 15h da tarde.

Há uma interrupção na tabela a partir do décimo ponto, porém esses pontos são computados no final. As 4 últimas linhas demonstram qual foi a média da irradiação de todos os pontos do grid; o valor médio no dia, entre 9h e 15h; a soma da irradiação de todos os pontos; e por fim, a irradiação total da área durante o dia, entre 9h e 15h.

Tabela 21: Valor em kWh / m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 23 de Dezembro

Dia do ano	23 de Dezembro						
Horário	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00
Ponto 1	0,797	0,908	0,935	0,884	0,814	0,739	0,624
Ponto 2	0,797	0,908	0,935	0,884	0,814	0,739	0,624
Ponto 3	0,797	0,908	0,935	0,884	0,814	0,739	0,624
Ponto 4	0,797	0,908	0,935	0,884	0,814	0,739	0,624
Ponto 5	0,797	0,908	0,935	0,884	0,814	0,739	0,624
Ponto 6	0,797	0,908	0,935	0,884	0,814	0,739	0,624
Ponto 7	0,795	0,906	0,933	0,882	0,812	0,737	0,622
Ponto 8	0,795	0,906	0,933	0,883	0,812	0,737	0,623
Ponto 9	0,792	0,903	0,930	0,880	0,809	0,734	0,620
Ponto 10	0,793	0,905	0,931	0,881	0,810	0,735	0,621
↕	...	...	...	...	...	...	...
Ponto 18.838	0,792	0,903	0,930	0,880	0,809	0,734	0,620
Média dos 18.838 pontos	0,760	0,878	0,913	0,855	0,773	0,685	0,565
Média entre 9h e 15h	0,776						
Soma dos 18.838 pontos	14388	16622	17299	16200	14631	12981	10692
Média entre 9h e 15h	14688						

Fonte: Autor

Tabela 22: Valor em kWh / m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 21 de Março

Dia do ano	21 de Março						
Horário	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00
Ponto 1	0,659	0,833	0,904	0,879	0,684	0,548	0,490
Ponto 2	0,659	0,833	0,904	0,879	0,684	0,548	0,490
Ponto 3	0,659	0,833	0,904	0,879	0,684	0,548	0,491
Ponto 4	0,659	0,833	0,904	0,879	0,684	0,548	0,491
Ponto 5	0,659	0,833	0,904	0,879	0,684	0,548	0,490
Ponto 6	0,659	0,833	0,904	0,879	0,684	0,548	0,490
Ponto 7	0,656	0,830	0,901	0,876	0,681	0,545	0,488
Ponto 8	0,657	0,831	0,902	0,877	0,682	0,546	0,489
Ponto 9	0,651	0,825	0,897	0,872	0,678	0,543	0,486
Ponto 10	0,653	0,828	0,899	0,874	0,680	0,544	0,487
↕	...	...	...	...	...	...	...
Ponto 18.838	0,651	0,825	0,897	0,872	0,678	0,543	0,486
Média dos 18.838 pontos	0,617	0,793	0,866	0,836	0,639	0,502	0,439
Média entre 9h e 15h	0,670						
Soma dos 18.838 pontos	11694	15011	16398	15825	12096	9505	8305
Média entre 9h e 15h	12690						

Fonte: Autor

Tabela 23: Valor em kWh / m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 21 de Junho

Dia do ano	21 de Junho						
Horário	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00
Ponto 1	0,460	0,612	0,687	0,691	0,630	0,494	0,339
Ponto 2	0,460	0,612	0,687	0,691	0,630	0,494	0,339
Ponto 3	0,460	0,612	0,688	0,692	0,630	0,495	0,339
Ponto 4	0,460	0,612	0,688	0,692	0,630	0,495	0,339
Ponto 5	0,461	0,612	0,688	0,691	0,630	0,494	0,339
Ponto 6	0,460	0,612	0,687	0,691	0,630	0,494	0,339
Ponto 7	0,456	0,608	0,684	0,688	0,627	0,492	0,337
Ponto 8	0,455	0,608	0,685	0,689	0,627	0,493	0,337
Ponto 9	0,216	0,566	0,678	0,683	0,623	0,489	0,335
Ponto 10	0,396	0,571	0,681	0,686	0,625	0,490	0,336
↕	...	...	...	...	...	...	...
Ponto 18.838	0,216	0,566	0,678	0,683	0,623	0,489	0,335
Média dos 18.838 pontos	0,417	0,563	0,631	0,630	0,563	0,434	0,284
Média entre 9h e 15h	0,503						
Soma dos 18.838 pontos	7906	10654	11951	11938	10667	8218	5383
Média entre 9h e 15h	9531						

Fonte: Autor

Tabela 24: Valor em kWh / m² da incidência de radiação em pontos das coberturas no horário especificado, para o dia 20 de Setembro

Dia do ano	20 de Setembro						
Horário	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00
Ponto 1	0,745	0,888	0,970	0,966	0,886	0,741	0,517
Ponto 2	0,745	0,888	0,970	0,966	0,886	0,741	0,517
Ponto 3	0,745	0,888	0,970	0,966	0,887	0,741	0,517
Ponto 4	0,745	0,888	0,970	0,966	0,887	0,741	0,517
Ponto 5	0,745	0,888	0,970	0,966	0,886	0,741	0,517
Ponto 6	0,745	0,888	0,970	0,966	0,886	0,741	0,517
Ponto 7	0,742	0,885	0,968	0,964	0,884	0,739	0,515
Ponto 8	0,742	0,886	0,968	0,964	0,885	0,739	0,515
Ponto 9	0,737	0,881	0,964	0,961	0,882	0,737	0,513
Ponto 10	0,739	0,883	0,966	0,963	0,883	0,738	0,514
↕	...	...	...	...	...	...	...
Ponto 18.838	0,737	0,881	0,964	0,961	0,882	0,737	0,513
Média dos 18.838 pontos	0,701	0,846	0,928	0,915	0,826	0,677	0,454
Média entre 9h e 15h	0,764						
Soma dos 18.838 pontos	13274	16026	17565	17326	15634	12814	8597
Média entre 9h e 15h	14462						

Fonte: Autor

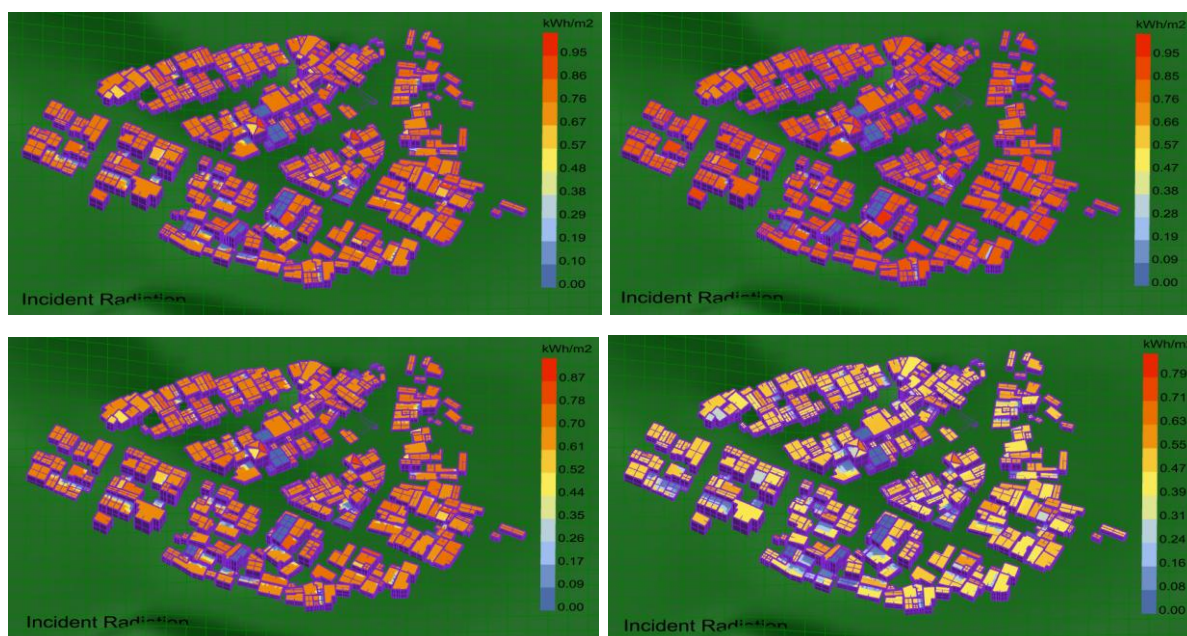
Ao compararmos as tabelas, é possível identificar que durante o dia a radiação é mais alta entre 11h e 12h, independente da estação do ano, nas coberturas do bairro. Já a partir das 14h, a radiação é muito próxima à das 9h da manhã. Seguindo a comparação, às 15h a incidência de radiação é a menor da faixa de horário do levantamento.

Entre as estações no hemisfério Sul, a data próxima ao solstício de verão, 23 de Dezembro, demonstrou os índices mais altos da incidência em praticamente todos os horários, porém nos horários entre 11h e 12h, na data próxima ao equinócio de primavera, 20 de Setembro, a radiação foi mais alta. Como o mesmo não ocorreu para os demais horários, é possível que esse fato seja devido às condições específicas do dia do verão escolhido, onde as coberturas receberam menor radiação que no dia analisado da primavera.

Para os equinócios, a data de 21 de Junho, do inverno, tem os menores índices da incidência de radiação em todos os horários e, ao analisarmos frente aos números da data próxima ao equinócio de outono, 21 de Março, esperava-se índices mais próximos, uma vez que a angulação do Sol é muito próxima entre as datas. Acredita-se, então, que seja uma especificidade dos dias escolhidos para os equinócios. A Figura 45 demonstra o comparativo da incidência de radiação, no mesmo horário de 9h da manhã, para as diferentes estações do ano, em mapa.

Para o sistema PVT, a incidência da radiação é extremamente importante, uma vez que ambas as tecnologias (fotovoltaica e de aquecimento de água) utilizam a energia do Sol para seu funcionamento. Porém, como já informado, as placas fotovoltaicas perdem eficiência com altas temperaturas, fazendo que a combinação com o aquecimento térmico seja propícia. Para a análise das estações do ano, o verão, por exemplo, possui os maiores índices de incidência de radiação, mas também as maiores temperaturas. Seguindo o mesmo raciocínio, o oposto acontece no inverno (menor radiação e temperaturas), assim como para os equinócios, onde os números são mais equilibrados. Portanto, uma análise mais ampla deve ser realizada, como pelo modelo analítico do comportamento térmico e elétrico de Procópio, 2017.

Figura 45: Comparativo da incidência de radiação às 9h no bairro Novo Aarão Reis, em 20/09 (superior esquerdo), 23/12 (superior direito), 21/03 (inferior esquerdo), e 21/06 (inferior direito).



Fonte: Autor

4.6.1 Eficiência do PVT em função da Irradiância

Em sua dissertação “Modelo Analítico para Avaliação do Desempenho Térmico e Elétrico de Módulos Fotovoltaicos Acoplados a Coletores Solares de Placa Plana Tipo Tubo-aleta e Serpentina”, Procópio (2017) avaliou o desempenho térmico e elétrico do acoplamento de módulos fotovoltaicos a coletores solares e foi investigada

a influência de quatro variáveis: a variação da irradiância, a temperatura da água na entrada dos dispositivos, a temperatura ambiente e velocidade do vento nas eficiências térmicas e elétricas. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura da água gera uma redução tanto das eficiências térmica quanto da elétrica; o aumento da irradiância e da temperatura ambiente gerou aumentos da eficiência térmica e reduções da eficiência elétrica; e o aumento da velocidade do vento ocasionou redução da eficiência térmica e aumento da eficiência elétrica.

Alguns dos elementos apresentados foram tabelas de eficiência térmica, elétrica e global de acordo com o modelo PVT escolhido, além das 4 variáveis apontadas acima e a comparação delas com a Primeira Lei da Termodinâmica.

A Tabela 25 abaixo demonstra uma adaptação das tabelas utilizadas por Procópio (2017), onde demonstrou-se a variação das eficiências dos modelos de PVT em função da Irradiância (200 W/m^2 , 400 W/m^2 , 600 W/m^2 , 800 W/m^2 e 1000 W/m^2). Para tanto, utilizou-se a temperatura ambiente fixa em 20°C , temperatura de entrada de água fixa em 45°C e variação da velocidade do vento em 1 m/s e 3 m/s .

Esses resultados encontrados por Procópio (2017) possibilitam o cruzamento de informações com os resultados obtidos na presente investigação. Como os *softwares Rhinoceros* e *Grasshopper* viabilizaram a determinação das irradiações nas coberturas das 389 habitações do bairro Novo Aarão Reis separados pelos horários de maior irradiância (9h às 15h) com datas que podem representar o respectivo período do ano, a aplicação dos valores encontrados nas tabelas 21 a 24 em combinação com a tabela 25 determina a produção de energia elétrica para as residências do estudo.

Para tanto, serão adotados os seguintes parâmetros, demonstrados no Gráfico 12:

- Velocidade do vento em Belo Horizonte: $1,5 \text{ m/s}$ de acordo com levantamento do INMET, de 2023. Como as tabelas de Procópio possuem as velocidades de 1 m/s e 3 m/s , será adotada a de velocidade mais próxima, de 1 m/s .
- Tipo de PVT: duas coberturas. Como os resultados se mostraram de maior eficiência global no modelo de duas coberturas, esse será o de referência.
- Gráfico de Irradiância X Eficiência conforme 1ª Lei da Termodinâmica. Esse gráfico gerado a partir das tabelas de Procópio (2017) permite o entendimento da relação Irradiância X Eficiência, porém trata-se de um valor aproximado, uma vez que as equações são em função de diversas variáveis que não são

o foco desta pesquisa.

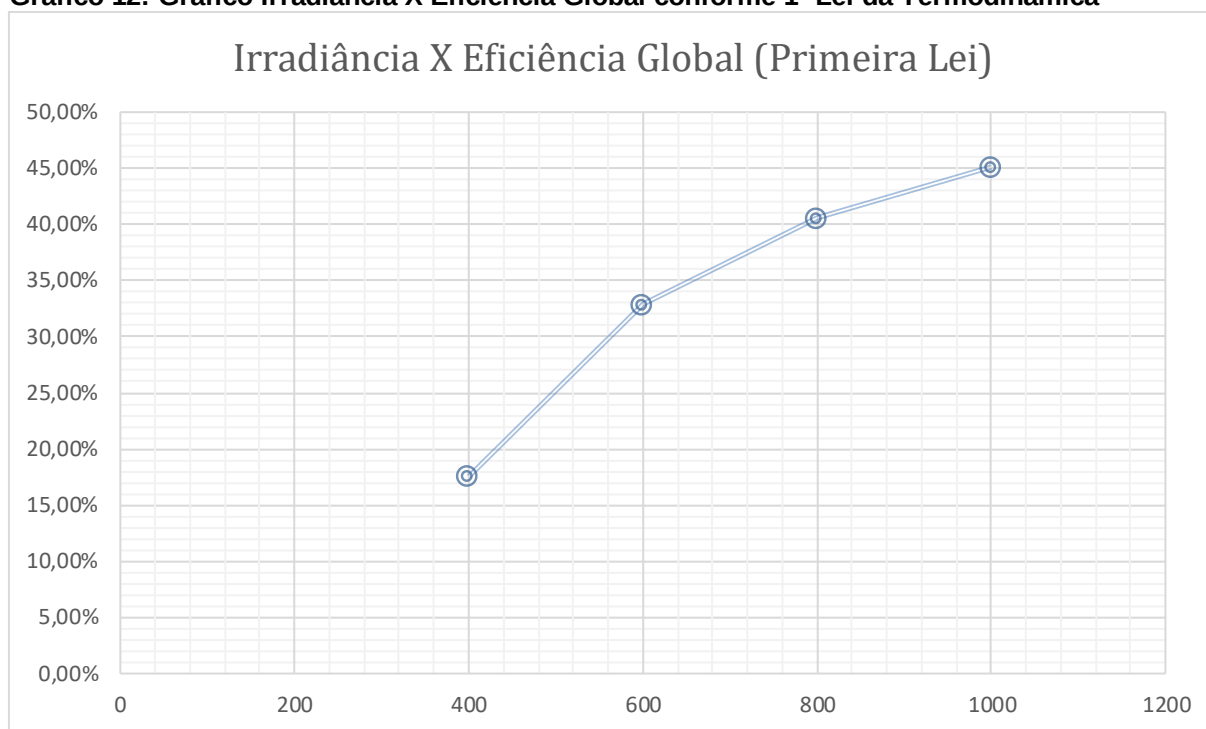
Tabela 25: Valores de eficiência de PVT de acordo com a variação da Irradiância

Avaliação pela Primeira Lei da Termodinâmica						
Temperatura de entrada da água 45°C - Velocidade do vento de 1,0m/s - Temperatura ambiente de 20°C						
I (W/m ²)	PVT com duas coberturas (Tubo aleta)			PVT com uma coberturas (Tubo aleta)		
	ET	EE	EG	ET	EE	EG
400	3,83%	13,71%	17,54%	-22,39%	13,85%	-8,54%
600	19,32%	13,59%	32,91%	0,80%	13,73%	14,53%
800	27,10%	13,46%	40,56%	12,41%	13,61%	26,02%
1000	31,79%	13,33%	45,12%	19,40%	13,49%	32,89%
Módulo PVT com média de 14,25% de eficiência						

Avaliação pela Primeira Lei da Termodinâmica						
Temperatura de entrada da água 45°C - Velocidade do vento de 3,0m/s - Temperatura ambiente de 20°C						
I (W/m ²)	PVT com duas coberturas (Tubo aleta)			PVT com uma coberturas (Tubo aleta)		
	ET	EE	EG	ET	EE	EG
400	-1,07%	13,74%	12,67%	-47,11%	13,97%	-33,14%
600	15,75%	13,61%	29,36%	-17,05%	13,86%	-3,19%
800	24,19%	13,49%	37,68%	-2,00%	13,75%	11,75%
1000	29,27%	13,36%	42,63%	7,05%	13,64%	20,69%
Módulo PVT com média de 14,25% de eficiência						

*ET=eficiência térmica; EE=eficiência elétrica; EG=eficiência global

Fonte: Autor (adaptado de Procópio, 2017)

Gráfico 12: Gráfico Irradiância X Eficiência Global conforme 1ª Lei da Termodinâmica

Fonte: Autor (adaptado de Procópio, 2017)

Ao relacionarmos os dados das tabelas 21 a 24 (Irradiância em 4 dias do ano) com o gráfico 12 (eficiência do PVT), temos como resultado a tabela 26, de eficiência do PVT para 4 dias do ano, demonstrando o funcionamento do equipamento nas diferentes estações do ano, tanto para a área do bairro – linha 6, como por residência – linha 7.

Tabela 26: Produção de energia por residência

Dia do ano	23/dez	21/mar	21/jun	20/set
Irradiância média (W/m²)	776	670	503	764
Irradiação entre 9h e 15h para 18.838m² (kWh/m²)	14688	12690	9531	14462
Eficiência pela 1ª Lei da Termodinâmica	39%	36%	25%	39%
Produção de energia diária pela 1ª Lei (kWh.dia)	5728	4568	2383	5640
Produção de energia mensal pela 1ª Lei (kWh.mês)	171850	137052	71483	169205
Produção por residência por mês pela 1ª Lei (kWh.mês)	442	352	184	435
Consumo médio das 389 residências (kWh.mês)	120	120	120	120

Fonte: Autor

O resultado da tabela 26 demonstra o potencial do PVT de 245 Wp, dimensões de 165 X 100 cm, com duas coberturas ensaiado por Procópio (2017) para cada uma das 389 residências do bairro Novo Aarão Reis, numa área de cobertura de 18.838m²,

caso toda a cobertura disponível possa receber o equipamento.

Com exceção da data 21 de Junho, que simboliza os meses mais frios do ano, em todas as outras épocas do ano, o PVT consegue com excedente fornecer energia elétrica para as residências. O excedente gira em torno de 195% ao ano (média entre os valores da produção mensal por residência – linha 7, dividido por 120 kWk.mês), mesmo considerando os meses com menor produção de energia e caso a área total da cobertura esteja livre para a instalação do artefato. Mesmo assim, se 1/3 das coberturas estiverem disponíveis, já equivalem produção e consumo energético. (Esse cálculo não leva em consideração as dimensões do PVT).

Importante notar que mesmo o sistema fotovoltaico sendo mais eficiente com menores temperaturas, com menor Irradiância nesta época do ano, e considerando a parcela de eficiência térmica do equipamento, nos meses mais frios a produção de energia é menor que nos meses mais quentes. Ainda assim, ao ponderarmos que apenas um equipamento seja implantado por residência, caso a malha urbana consiga ser utilizada em toda sua totalidade, a produção de energia é bastante superior ao consumo da população.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho tinha como objetivo investigar a viabilidade de uso do tecido urbano para a geração de energia através da implantação do sistema PVT em área de alta vulnerabilidade socioeconômica e às mudanças climáticas, como foi o caso do bairro de estudo, o Novo Aarão Reis, na região Norte de Belo Horizonte. Especificamente, as etapas do objetivo de levantamento de dados populacionais e de consumo energético, assim como a aproximação à população com os *workshops*, também a análise financeira, e principalmente a simulação computacional puderam, em conjunto, demonstrar o potencial da utilização da tecnologia PVT nas habitações de baixa renda.

A metodologia utilizada, similar à de um trabalho de referência na região (de APO na EMHJS) no que se refere ao levantamento de consumo energético, porém ampliada pela modelagem computacional no bairro todo mostrou-se satisfatória, uma vez que demonstrou os alcances da tecnologia do PVT na malha urbana consolidada. Acredita-se que este estudo seja uma inovação para o referido sistema que utiliza o Sol como fonte inesgotável de energia.

Após a análise de resultados e compreensão da necessidade de geração de pesquisas e investimentos na área da tecnologia investigada, assim como o olhar atento aos ODS, principalmente o 7 e o 11, pode-se dizer que há a viabilidade de implantação do sistema PVT em áreas de população de baixa renda, garantindo, inclusive, o aumento da resiliência da população local no acesso e segurança energética. Reforça-se que a Sustentabilidade deve ser vista sobre seus 4 aspectos: Social, Ambiental, Econômico e Institucional em conjunto. Essa percepção, entretanto, deve ser analisada não sob a ótica de retorno financeiro garantido e de curto prazo, mas sim sob as condições de que as carteiras de investimentos ESG são menos voláteis em relação a outras do mercado de ações, somado ao fato de que há uma contribuição direta ao Meio Ambiente.

Como exposto no início do texto, as metrópoles brasileiras, e a cidade de Belo Horizonte é um retrato fiel dessa realidade, possuem um crescimento rápido e desorganizado, fazendo que a população mais vulnerável seja colocada à margem das diversas estruturas urbanas que possam garantir a saúde, segurança e mobilidade. O bairro Novo Aarão Reis é um exemplo de população de baixa renda (conforme apontaram as análises dos questionários), inserida numa área com

potencial elevado para casos de dengue, ondas de calor, desmoronamento e enchentes (Way Carbon, 2016). Essa região, porém, é habitada por pessoas que em grande parte mora em suas casas, que são próprias, há mais de 25 anos, quando o loteamento deu início. O bairro é adensado, não permitindo expansão horizontal devido à sua localização e topografia, e a verticalização acontece até certo limite. A leitura que pode ser feita é que as pessoas que ali habitam, permanecem no bairro enquanto a família cresce. Assim, as casas ganham novos pavimentos para atender essa demanda. Considerando, portanto, que a tecnologia PVT não é rígida em sua implantação, o deslocamento do equipamento não seria um empecilho, porém ela deve ser feita da forma correta, com direcionamento e posicionamento adequados, o que aponta para uma mão-de-obra mais especializada. Essa movimentação do artefato afetaria diretamente a incidência de radiação, portanto o ordenamento urbano deveria em conjunção a uma negociação com os moradores, proteger o acesso à radiação dos equipamentos instalados.

Várias fontes do referencial teórico apontaram um potencial solar enorme para o país, muito maior que na Europa, por exemplo, e esses níveis foram demonstrados pelos softwares *Rhino/Grasshopper* no capítulo Resultados. Uma divergência, entretanto, foi notada, no item 2.3.1 – Estudo de mapeamento digital do desempenho tecnoeconômico do sistema PVT para edifícios em grandes cidades. O autor informou que a produção elétrica pelo coletor PVT é maior em locais com alta temperatura ambiente, porém as demais pesquisas apontaram exatamente o oposto.

Considerando, também, que o país se comprometeu a cumprir as metas do Acordo de Paris, onde os ODS foram definidos (em especial o 7 – Energias Renováveis e 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis), é notória a eficiência e importância que as tecnologias fotovoltaicas e de aquecimento térmico proporcionam. Ao somarmos a esse cenário o esgotamento dos recursos naturais, o aumento do preço do combustível fóssil, a falta de chuva por longos períodos e até falta de investimento no setor de energia, o PVT pode ser entendido como uma tecnologia promissora.

É importante pontuar que a implementação de uma nova tecnologia esbarra em diversas questões, desde a técnica, mas sobretudo a financeira. O mercado é cauteloso, mas atento ao potencial lucrativo de algo promissor. Como apontado no sub item “Análise financeira”, as carteiras ESG ainda não são mais rentáveis que a bolsa de valores, mas em diversas situações as companhias de melhores práticas de

sustentabilidade saíram-se melhor, como em cenários de queda. Considerando que a ampliação do mercado com a geração de novos dados e investimentos financeiros, além da divulgação da pesquisa científica, como feito anteriormente com as tecnologias que formam o PVT, o sistema é de grande potencial.

A sua aplicação prática também é um desafio, assim como visto no referencial para o SAST, no caso do bairro Sapucaias, em Contagem/MG. Os usuários da tecnologia devem estar muito cientes do equipamento que possuem em mãos. Ele demanda, inclusive, manutenção, para o seu correto aproveitamento e eficiência. Dessa forma, um trabalho em conjunto à população, com o treinamento técnico de funcionamento da tecnologia e seu reparo, gerando inclusive um mercado de trabalho local, é fundamental. Considerando as características acima expostas do bairro Novo Aarão Reis, onde uma certa verticalização é realidade, as famílias devem saber como adequar o equipamento à nova cobertura. Esse treinamento da população local para manutenção e reparos viabilizaria a movimentação do PVT, além de gerar um nicho de trabalho na comunidade.

Tecnicamente, o capítulo da modelagem permitiu a leitura gráfica mais detalhada e específica das coberturas do bairro, reforçando o entendimento anterior, quando os alunos da “Oficina temática de eficiência energética e fontes alternativas de energia” demonstraram que aproximadamente 70% delas são planas, ou direcionadas a Norte, evidenciando o potencial de implantação para o PVT. Na simulação computacional, 389 habitações foram analisadas em conjunto, formando uma malha volumétrica onde a incidência da radiação foi investigada. O teste realizado para os horários de maior incidência solar, entre 9h e 15h, para 4 dias específicos do ano (próximos aos solstícios e equinócios), como apresentado na Figura 45, aponta a incidência de radiação em cada ponto mapeado, demonstrando o valor em kWh / m². O pouco sombreamento e a utilização de lajes planas nas coberturas do bairro (percebida inclusive através dos questionários), por exemplo, reforçam o entendimento da potencial do PVT na região.

Ao se comparar a incidência de radiação na malha urbana investigada através dos dados gerados pelos *softwares Rhinoceros / Grasshopper*, a eficiência global (térmica e elétrica) do PVT de acordo com o trabalho de Procópio (2017) e o levantamento do consumo energético da população do Novo Aarão Reis, sendo esta através dos questionários respondidos por parte da população ou mesmo pelos referenciais teóricos, a pesquisa demonstrou que a tecnologia que combina a sistema

fotovoltaico e o de aquecimento térmico pode produzir energia elétrica com excedente de 195% para a comunidade. Ou seja, a população teria seu consumo energético atendido integralmente pelo sistema, contribuiria com a produção de eletricidade (ao contrário da instalação de “gatos”), gerando segurança a toda a vizinhança, além das pessoas seriam protagonistas do seu próprio sistema energético. Deve-se, porém, levar em consideração que os dados utilizados para o PVT são fixos na temperatura de entrada de água a 45°C, temperatura ambiente em 20°C, e velocidade do vento de 1m/s, o que não acontece em tempo integral naturalmente.

Portanto, é possível afirmar que há um potencial de implantação do sistema PVT no bairro Novo Aarão Reis. Certamente uma pesquisa mais ampla, inclusive sobre políticas voltadas a variação da matriz energética e também considerando as diversas variáveis climáticas, analisando o bairro por completo, utilizando a mesma metodologia, além da adoção de um protótipo do equipamento em diversas casas para investigação sistemática, poderia assegurar esse potencial, até mesmo financeiro, que não foi possível mensurar neste trabalho. O aprofundamento do estudo, com detalhes mais apurados de consumo energético da população e também da eficiência do PVT, como por exemplo, a determinação da eficiência global do sistema com as diversas variação de temperatura de água, ambiente, velocidade de vento, enriqueceria profundamente o estudo. Entretanto, os benefícios de segurança energética e na redução dos valores das faturas para uma comunidade de baixa renda, é algo que a tecnologia PVT pode garantir, não apenas em Belo Horizonte, mas no Brasil como um todo.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Energia: Contas da Aneel subsidiam lucro das distribuidoras.** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.https://www.absolar.org.br/noticia/energia-contas-da-aneel-subsidiam-lucro-das-distribuidoras/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Energia solar ultrapassa carvão e nuclear juntas.** São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-ultrapassa-carvao-e-nuclear-juntas-e-atinge-mais-de-r-30-bilhoes-em-investimentos-acum/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica). **Energia solar fotovoltaica: como funciona, vantagens, desvantagens e principais desafios para o futuro.** São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-fotovoltaica-com-o-funciona-vantagens-desvantagens-e-principais-desafios-para-o-futuro/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

ALMEIDA, E.; LOSEKANN, L.; MELO, Y.E.; MEJDALANI, A. **As dimensões ocultas da pobreza energética: a relação entre furto, qualidade da energia e segurança pública na cidade do Rio de Janeiro.** Agência EPBR, Seção Colunas e Opinião, 19/12/2018. Disponível em: <https://epbr.com.br/as-dimensoes-ocultas-da-pobreza-energetica-a-relacao-entre-furto-qualidade-da-energia-e-seguranca-publica-na-cidade-do-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 08 ago. 2022.

ALVES, JED. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): boa intenção, grande ilusão.** Ecodebate, RJ, 11/03/2015. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2015/03/11/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-ods-bom-intencao-grande-ilusao-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 12 fev. 2024

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Revisão das regras de geração distribuída entra em consulta pública.** Brasília, 15 out. 2019. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/revisao-das-regras-de-geracao-distribuida-entra-em-consulta-publica/656877. Acesso em: 03 jun. 2020.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Revisão das regras da micro e minigeração distribuída – RN nº 482/2012:** Relatório nº 0004/2018-srd/scg/sma/aneel. Brasília, 6 dez. 2018. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+Modelo+de+AIR+-+SRD+-+Gera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida.pdf/769daa1c-51af-65e8-e4cf-24eba4f965c1>. Acesso em: 10 mar. 2021.

BARBIERO, V. K. Urban health: it's time to get moving! **Global Health: Science and Practice**, [S.l.], v. 2, n. 2, p.139-144, 2014.

BELO HORIZONTE. PBH. **Dados Geoespaciais da Prefeitura de Belo Horizonte.** Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/bhgeo>. Acesso em: 29 maio 2022.

BINI, C.; GALAFASSI, M. **Desenvolvimento de um fluxo de trabalho para dimensionamento de elementos de obstrução solar, utilizando softwares de modelagem paramétrica.** In: XIV ENCAC, 2017. Balneário Camboriú, SC. Disponível em:

<http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico4artigo23.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

BONDUKI, Nabil Georges. **Origens da habitação social no Brasil**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998, 344 p.

BORINELLI, Benilson. O “fracasso” da política ambiental: uma leitura teórica. **Revista Espaço Acadêmico**, Maringá, n. 124, p. 130-137, set. 2011. Mensal.

BRANDÃO, Rafael Silva. **PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DE AMBIENTES URBANOS UTILIZANDO-SE DE MODELAGEM PARAMÉTRICA**. Belo Horizonte: Relatório de Pós-Doutoramento, 2023. Trabalho não publicado.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: MME: EPE, 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

BUCHALA, I. C. F. *et al.* **Levantamento e análise de dados de consumo desagregado de energia em escola pública municipal para retrofitting**. In: **ENCAC, 15.**, João Pessoa. Anais [...]. 2019.

CACCIA, L. S.; EVERS, H.; *FERNANDES C. S.*; *BETTI, L. P.* **Sustentabilidade em habitação de interesse social**. São Paulo: Wri Brasil, 2017.

CASA EFICIENTE: **Consumo e geração de energia** / editores: Roberto Lamberts... [*et al.*]. – Florianópolis: UFSC/ LabEEE; 2010. v. 2.

CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo). **Projeto de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos**, 2017. Disponível em: <http://abc.habitacao.org.br/wp-content/uploads/2017/07/B-Proj-Urb-Arq-Conj-Hab-Energia-Fotovolta-HIS-CDHU-SP.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

CERATTI, M. K. **Os 'gatos' custam bilhões ao Brasil e à América Latina**. Jornal El País, seção Internacional, 25/07/2015. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2015/07/21/internacional/1437514682_786439.html. Acesso em: 08 ago. 2022.

CHECIN, A. **A natureza como limite da economia. A contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen**. São Paulo. Edusp, 2010.

CHOW, T. T. **A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology**. In: Applied Energy. [S.l.]: Elsevier, 2010.

DUARTE, E.M.; MAGALHÃES C.M. **A implementação e os desafios interacionais da energia solar térmica em Sapucaias, Contagem (MG)**. Rev. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 17, n. 47, p.86-103, abr./jun., 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rt/article/view/9790>. Acesso em: Agosto de 2023.

ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL: Contribuições da Eletrobrás Procel e Parceiros. Rio de Janeiro, 2012.

FAJERSZTAJN, L.; VERAS, M.; SALDIVA, P. H. N. Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 30, n. 86, p.7-27, 2016.

FANTINELLI, J. T.; PEREIRA, E. M. D. Contagem +10: experiência em comunidade de baixa renda. In: VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro de (org.). **Energia Solar para aquecimento de água no Brasil**: Contribuições da Eletrobrás Procel e Parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobrás Procel, 2012.

FRAIDENRAICH, N. **Tecnologia solar no Brasil. Os próximos 20 anos**. Disponível em: http://www.cgu.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Fraidenraich.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

GOLDBLATT, D. **Teoria social e ambiente**. Lisboa: Instituto Piaget, 1996.

GREENER. **Estudos Estratégicos de Geração Distribuída: Mercado Fotovoltaico**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-2-semester/>. Acesso em: 30 jul. 2023.

IBGE (Belo Horizonte). **IBGE Cidades: panorama**. Panorama. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: 20 maio 2022.

IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**: Minas Gerais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/censo2010/apps/sinopse/index.php?dados=29&uf=31>. Acesso em: 14 agosto 2023.

IBGE. **População Residente, Área territorial e Densidade Demográfica Ano 2022**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/4714#resultado>. Acesso em: 14 agosto 2023.

IBGE. **De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes#:~:text=Cerca%20de%20124%20milh%C3%B5es%20vivem,mais%20de%20100%20mil%20habitantes..> Acesso em: 14 outubro 2023.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª Edição. São José dos Campos: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2017.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis**, 2019. Disponível em: <https://ipea.gov.br/ods/ods11.html>. Acesso em: 23 out. 2020.

IPUC. GREEN PUC Minas. 2017. Disponível em: <https://ipuc.pucminas.br/green/sobre.html>. Acesso em: 13 jun. 2022.

JORNAL O Estado de Minas Gerais. **'Gatos' de energia crescem 63% em Belo Horizonte**. 21/06/2017. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/06/21/interna_gerais,877873/gatos-de-energia-crescem-63-em-belo-horizonte.shtml. Acesso em: 08 ago. 2022.

LIMA, G. A.; TEIXEIRA, F. M.; SILVA, M. V.; HUEBNER, R.; FARIA, L.P. P. Análise de eficiência de um coletor solar PVT por simulação numérica com base no mapa solarimétrico de Minas Gerais. In: VII CONGEA, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Ibeas, 2016. p. 1-6. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/X-005.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023

MAGLIAVACCA, A., *et al.* **Placas fotovoltaicas refrigeradas a água e a possibilidade de cogeração elétrica e térmica**. Santa Catarina: Instituto Federal de Santa Catarina, 2013.

MARICATO, E. **Brasil Cidades, alternativas para a crise urbana**. s.l. : Editora Vozes, 4ª edição, 2011.

MELO, S. L. *et al.* Impactos sociais da geração distribuída fotovoltaica no Programa Minha Casa Minha Vida em Juazeiro/BA. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 7º, 2018, Gramado. **Anais [...]** Gramado: CBES, 2018.

MOREIRA, Suzanna. **O que é Habitação de Interesse Social**. In: Archdaily, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/925932/o-que-e-habitacao-de-interesse-social>. Acesso em: 23 out. 2020.

ODS. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | (imvf.org). Acesso em: 28 ago. 2021.

PALLA, N. *et al.*, 2014. Development of Multivalent PV-Thermal Collectors for Cooling, Heating and Generation of Electricity. In: INTERNATIONAL PLEA CONFERENCE, 30ª 2014, Ahmedabad. **Proceedings [...]** Ahmedabad: CEPT University, 2014, p. 16-18.

PAULA, N. S.; NASCIMENTO, O. C.; SILVA, S. B. Análise de viabilidade da energia solar fotovoltaica conectado à rede, aplicado a residências populares: estudo de caso em ITUMBIARA-GO. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 14., 2016, Uberlândia. **Anais [...]**. Uberlândia: Ceel, 2016. p. 1-5.

PENAKA, S. R.; SAINI, P. K.; ZHANG, X.; DEL AMO, A. Digital Mapping of Techno-Economic Performance of a Water-Based Solar Photovoltaic/Thermal (PVT) System for Buildings over Large Geographical Cities. **Buildings**, [S.L.], v. 10, n. 9, p. 148, 27 ago. 2020.

PEREIRA, E.B. **Projeto busca melhor uso da energia solar**. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/projeto-busca-melhor-uso-da-energia-solar-1.327296>. Acesso em: 28 jan. 2021.

PEREZAGUA, E. **New Rising Era for Photovoltaic Integration in Buildings**. In: European Union Sustainable Energy Week. Brussels, 2007.

PROCEL. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial – Região Sudeste**. Relatório Técnico. Brasília: PROCEL, 2019.

PROCÓPIO, O. L. *et al.* MODELO ANALÍTICO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E ELÉTRICO DE UM MÓDULO PV/T E SUA AVALIAÇÃO PELA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S. L.], v. 7, n. 7, p. 74-82, 1 jul.

2016. Semestral. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/149/147>. Acesso em: 13 jun. 2022.

PROCÓPIO, Othon Lucas. **Modelo Analítico para Avaliação do Desempenho Térmico e Elétrico de Módulos Fotovoltaicos Acoplados a Coletores Solares de Placa Plana Tipo Tubo-aleta e Serpentina**. 2017. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Cefet/Mg, Belo Horizonte, 2017.

REINHART, C. F.; GEISINGER, J.; DOGAN, T.; SARATTSIS, E. **Lessons learned from a simulation-based approach to teaching building science to designers**. In: 14^o INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 2015. India. Anais... Hyderabad: 7-9 dez. p. 1126-1133.

RHEINGANTZ, P. A. *et al.* **Observando a qualidade do lugar: procedimentos para a avaliação pós-ocupação**. Rio de Janeiro: Coleção PROARQ/FAU/UFRJ, 2009. Disponível em: www.gae.fau.ufrj.br/assets/obs_a_qua_lugar.pdf ; Acesso em: 09 de ago de 2021.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S **Ecohouse – A casa ambientalmente sustentável**. Tradução Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2009.

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

SCHULTZ, A. **Análise da Viabilidade Econômica da Utilização do Sistema Fotovoltaico em Habitações de Interesse Social em Belo Horizonte, MG**. 2021. Monografia (Especialização) - Curso de Sustentabilidade Aplicada A Cidades, Edificações e Produtos, Tau Ea, Ufmg, Belo Horizonte, 2021.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Térmica e Fluidos) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde18032013-091511/>.

VALIÑO, R. **Proposições para os problemas das perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica**. 2020. Disponível em: https://www.strategyand.pwc.com/br/pt/no-que-pensamos/Proposicoes_para_os_Problemas_das_Perdas_Nao_Tecnicas_na_Distribuicao_de_Energia_Eletrica_A4_07Dez2020_VF.pdf. Acesso em: 01 abr. 2023

VILELA, J. A., ASSIS, E. S. **Implantação das HIS-padrão MCMV e a produção de energia solar no tecido urbano: estudo de caso**. 2018.

WAY CARBON. **Análise de vulnerabilidade às mudanças climáticas do município de Belo Horizonte**. Relatório. Belo Horizonte: PBH, 2016.

ZONDAG, H.A. **Flat-plate PV-Thermal Collectors and Systems: A Review**. The Netherlands: Science Direct, 2005.

ZONDAG, H.A.; VRIES, D.W.; van HELDEN, W.G.J.; van ZOLINGEN, R.J.C.; van STEENHOVEN, A.A. **The yeld of different combined PV-Thermal collector designs**. The Netherlands: Solar Energy, 2003.

ANEXO A

Código para modelagem de telhados.

```
from ghpythonlib.componentbase import executingcomponent as component
import Grasshopper, GhPython
import System
import Rhino
import rhinoscriptsyntax as rs
```

```
class MyComponent(component):
```

```
    def RunScript(self, inclination, inclination_crv, hip_base):
```

```
        """Provides a scripting component.
```

```
        Inputs:
```

```
            x: The x script variable
```

```
            y: The y script variable
```

```
        Output:
```

```
            a: The a output variable"""
```

```
        __author__ = "WazX"
```

```
        __version__ = "2023.06.28"
```

```
        import rhinoscriptsyntax as rs
```

```
        incl = float(inclination)
```

```
        incl_dir_crv = rs.coercecurve(inclination_crv)
```

```
        incl_dom = rs.CurveLength(incl_dir_crv)
```

```
        incl_start = rs.CurveStartPoint(incl_dir_crv)
```

```
        incl_end = rs.CurveEndPoint(incl_dir_crv)
```

```
        roof_top = abs(incl_dom*incl/100)
```

```
        incl_up = rs.CopyObject(incl_end, [0,0,roof_top])
```

```
        incl_plane = rs.AddSrfPt([incl_start, incl_end, incl_up])
```

```
        incl_normal = rs.SurfaceNormal(incl_plane,[0,0])
```

```
        incl_pt_plane = rs.CopyObject(incl_start, incl_normal)
```

```
        hip_plane = rs.PlaneFromPoints(incl_start, incl_pt_plane, incl_up)
```

```
        roof_path = rs.AddLine(incl_end, incl_up)
```

```
        hip_base_normal = rs.SurfaceNormal(hip_base, [0,0])
```

```
        if hip_base_normal == (0,0,-1):
```

```
            rs.FlipSurface(hip_base)
```

```
        hip_block = rs.ExtrudeSurface(hip_base, roof_path)
```

```
        hip_cut = rs.TrimBrep(hip_block, hip_plane)
```

```
        hip_brep = rs.CapPlanarHoles(hip_block)
```

```
        geometry = hip_block
```

```
        roof_height = roof_top
```

```
        # return outputs if you have them; here I try it for you:
```

```
        return [geometry,roof_height]
```

APÊNDICE

**QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO DE RESIDÊNCIAS DO
BAIRRO NOVO AARÃO REIS, EM BELO HORIZONTE/MG**

Esse questionário tem o propósito educacional e será utilizado em pesquisa de consumo energética da UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, da Escola de Arquitetura. Pedese, por gentileza, que as pessoas **NÃO** se identifiquem. Os resultados são **SIGILOSOS**, serão utilizados para fins científicos e **NÃO** serão enviados à concessionária CEMIG ou a qualquer outra empresa de energia.

Espera-se que o resultado da pesquisa em desenvolvimento indique um potencial para implantação de energia solar para as habitações do bairro Novo Aarão Reis. Essa tecnologia favorece a diversificação da matriz energética brasileira, utilizando o Sol como fonte de energia inesgotável, limpa e silenciosa. Também há o fortalecimento da comunidade, que pode ser beneficiada com a geração de empregos e diminuição no valor da conta de energia.

1. Qual a quantidade de moradores na residência, por idade? (Preencher a quantidade dentro do parênteses).

Meninos até 11 anos	()	Meninas até 11 anos	()
Rapazes entre 12 e 18 anos	()	Moças entre 12 e 18 anos	()
Homens entre 19 e 40 anos	()	Mulheres entre 19 e 40 anos	()
Homens acima de 40 anos	()	Mulheres acima de 40 anos	()

2. Qual a renda familiar em salários mínimos? (Marcar com "X" dentro do parênteses).

Menos de 1 salário	()	Entre 1 e 2 salários	()
Entre 2 e 3 salários	()	Entre 3 e 4 salários	()
Entre 4 e 5 salários	()	Acima de 5 salários	()

3. Há quanto tempo a família mora no domicílio? (Preencher a quantidade dentro do parênteses).

() anos

4. Condição de ocupação da moradia. (Marcar com "X" dentro dos parênteses).

() autoconstruída () própria já paga
() própria, ainda pagando () alugada
() emprestada () outra
() não sabe

5. Qual o tempo aproximado de construção do imóvel? (Preencher a quantidade dentro do parênteses).

() anos () não sabe

6. Existe alguma atividade de renda que é realizada na moradia? (Marcar com "X" dentro do parênteses).

- () cabeleireiro/a () costura
() comida () conserto de carro/moto
() bar () mercadinho
() lavar/passar roupa () marcenaria
() outra. (Qual? _____)

7. Qual o tipo de cobertura da moradia? (Marcar com "X" dentro do parênteses).

- () laje de concreto () telha de barro
() telha de fibrocimento () telha metálica
() outro. (Qual? _____)
() não sabe

8. Quais eletrodomésticos a família possui e qual o tempo de utilização? Para o tempo de uso colocar a seguinte denominação:

GRANDE (se utilizado mais de 4 vezes na semana)

MÉDIA (se utilizado entre 1 e 3 vezes na semana)

REGULAR (se utilizado entre 1 e 3 vezes no mês)

PEQUENA (poucas vezes no ano)

NENHUMA (tem o aparelho, mas não utiliza)

NÃO POSSUI

Aparelho	Tempo de uso (ver acima da tabela)	Aparelho	Tempo de uso (ver acima da tabela)
Geladeira		Cafeteira elétrica	
Micro-ondas		Liquidificador	
Máquina de lavar roupas		Máquina de costura	
Ferro de passar roupas		Rádio	
Freezer		Secador de cabelo	
Aparelho de TV		Chapinha	
Computador		Aparelho de som	
Forno elétrico		Ventilador	
Fogão		Ar condicionado	
Batedeira		Outro?	
Tanquinho		Outro?	

9. Com relação à GELADEIRA, qual a idade aproximada do eletrodoméstico? (Preencher a quantidade dentro do parênteses).

- () anos

10. Qual o consumo mensal de energia dos últimos 12 meses? (Caso possua a conta de luz, informar os valores descritos. Se não possuir, deixar em branco).

Mês	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
Novembro / 2022		
Dezembro / 2022		
Janeiro / 2023		
Fevereiro / 2023		
Março / 2023		
Abril / 2023		
Mai / 2023		
Junho / 2023		
Julho / 2023		
Agosto / 2023		
Setembro / 2023		
Outubro / 2023		

11. Sobre os banhos, informar a temperatura da água de acordo com as estações do ano.

Verão: quente () ou morna () ou fria ()

Outono e primavera: quente () ou morna () ou fria ()

Inverno: quente () ou morna () ou fria ()

12. Sobre o uso do chuveiro elétrico, informar o tempo em minutos, e o período que se toma banho na moradia para cada morador. Preencher a tabela para dias de semana e fins de semana. Verificar exemplo abaixo:

Morador	Escrever no espaço o tempo em minutos do banho do morador						
Morador 1	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
		5 min				8 min	

- A tabela acima informa que o MORADOR 1 tomou 1 banho de 5 minutos entre 6h e 11h da manhã, e outro banho de 8 minutos entre 19h e 21h.

Tabela para dias de semana (entre segunda-feira e sexta-feira)							
Morador	Escrever no espaço o tempo em minutos do banho do morador						
Morador 1	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 2	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 3	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 4	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 5	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 6	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h

Tabela para fins de semana (entre sábado e domingo)							
Morador	Escrever no espaço o tempo em minutos do banho do morador						
Morador 1	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 2	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 3	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 4	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 5	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h
Morador 6	Antes das 6h	Entre 6h e 11h	Entre 11h e 14h	Entre 14h e 17h	Entre 17h e 19h	Entre 19h e 21h	Após às 21h

13. Qual a quantidade de lâmpadas acesas em cada ambiente e durante quanto tempo do dia?

Ambiente	Tipo de lâmpada (marcar "X")			Quantidade de lâmpadas	Quantidade de tempo ligadas (horas)
	Led	Fluorescente	Incandescente		
Sala					
Cozinha					
Área de Serviço					
Banheiro 1					
Banheiro 2					
Corredor					
Quarto 1					
Quarto 2					
Quarto 3					
Garagem					
Área externa					
Outro?					

14. A moradia possui caixa d'água? SIM () / NÃO ()

Muito obrigado pela sua contribuição! Ela é fundamental para que o estudo energético seja fortalecido.

Em breve o trabalho científico será divulgado (mantendo-se o sigilo das respostas) e esperamos que a comunidade do bairro Novo Aarão Reis possa ser beneficiada através da energia solar!