



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**UTILIZAÇÃO DE CASCA DE CAFÉ NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM ENFOQUE NA
SUSTENTABILIDADE E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO
AGRÍCOLA**

Alicia Sousa Abreu Santos

Lajeado, dezembro de 2020

Alicia Sousa Abreu Santos

**UTILIZAÇÃO DE CASCA DE CAFÉ NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM ENFOQUE NA
SUSTENTABILIDADE E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO
AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento, área de concentração Espaço, Ambiente e Sociedade e linha de pesquisa Tecnologia e Ambiente.

Orientador: Dr. Mont. Odorico Konrad.

Coorientadora: Dra. Andréia Fernandes da Silva.

Lajeado, dezembro de 2020

Alicia Sousa Abreu Santos

**UTILIZAÇÃO DE CASCA DE CAFÉ NA CONSTRUÇÃO CIVIL:
DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES COM ENFOQUE NA
SUSTENTABILIDADE E REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO
AGRÍCOLA**

A banca examinadora abaixo aprova a dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de mestre em Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração Tecnologia e Ambiente.

Prof. Dr. Mont. Odorico Konrad – Orientador
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Dra. Andréia Fernandes da Silva – Coorientadora
Universidade do Estado do Mato Grosso

Prof. Dr. Eduardo Miranda Ethur
Universidade do Vale do Taquari

Prof. Dra. Giselly Barros Rodrigues
Instituto Federal de São Paulo - IFSP

Prof. Dr. Rodrigo Spinelli
Universidade do Vale do Taquari

Lajeado, dezembro de 2020

À minha mãe Cinara Sousa Abreu.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui, ao final dessa jornada incrível que foi o mestrado é relembrar experiências únicas vivenciadas durante 24 meses, tempo esse que pude conhecer pessoas incríveis e ter a certeza que àqueles que caminharam e sonharam junto comigo foram os melhores. Então demonstro aqui, em poucas palavras, mas com muita emoção e coração transbordando amor, a minha eterna gratidão.

Primeiramente agradeço aos meus familiares, sempre tão presentes e referência para onde sempre posso voltar. Em especial à minha mãezinha, fonte inspiradora de todo amor, força, dedicação e sabedoria que eu tenho e carregarei por todo sempre em minha vida, a ela dedico todos os dias as minhas vitórias e conquistas. Minha eterna saudade!

Aos meus avós, Chico e Flor, que sempre me conduziram ao caminho do bem, da honestidade e perseverança, sendo meu porto seguro. Aos meus irmãos, Kaio e Isabela, pelo apoio incondicional e todas as palavras de carinho e incentivo para que eu seguisse em frente.

Ao Iagno, companheiro que me incentiva e apoia em todas as minhas escolhas e sonhos. O seu apoio e compreensão durante todo esse tempo, se fazendo presente de alguma forma nos mais longos dias distantes, obrigada por estar ao meu lado. Aos meus amigos, que tornavam mais leves àqueles dias que pareciam não ter mais fim, sempre com palavras cheias de carinho e motivação. Agradeço ainda aos colegas do PPGAD que se tornaram também amigos, compartilhando juntos cada conquista, conhecimento e saudade partilhada.

A UNIVATES e ao PPGAD, por me encantar desde o primeiro dia diante da beleza do seu espaço, da competência existente do corpo docente fantástico e inspirador, aprendendo diariamente com discussões ricas e engrandecedoras às quais me transformaram enquanto pessoa e profissional.

Aos melhores professores doutores André, Eduardo, Rodrigo e Andreia, que tive a oportunidade de conviver um pouco mais. Obrigada pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa e por compartilharem conhecimentos tão valiosos. Por fim, deixo aqui um agradecimento especial à família Konrad (Ana e Odo), pessoas especiais, que me acolheram e me apoiaram em dias tão difíceis. Vocês foram essenciais para que eu chegasse até aqui! Formalmente, ao Prof. Dr. Odorico, gratidão por todo conhecimento, por cada orientação e palavras de incentivo durante essa jornada, sempre tão disponível e com um astral ímpar, guiando minha trajetória para que esse trabalho fosse concluído com êxito.

RESUMO

O setor da construção civil é responsável por produzir grande quantidade de resíduos, descartando-os muitas vezes de forma indevida, acarretando em sérios problemas ambientais. A conscientização da sociedade acerca do uso racional dos recursos naturais, da utilização de materiais reciclados ou reaproveitados e da aplicação adequada dos materiais nas edificações são algumas diretrizes que corroboram para a redução dos impactos ambientais. Diversos pesquisadores têm desenvolvido estudos acerca dos potenciais existentes no uso de materiais naturais na construção civil, dentre eles está a casca de café, objeto de estudo desta pesquisa. A proposta para a elaboração deste trabalho é baseada em levantamento bibliográfico e coleta de dados climáticos, com o intuito de produzir a carta bioclimática local, proporcionando consistência e embasamento teórico eficazes a fim de alcançar soluções aplicáveis e com resultados positivos ao que se propõe. Ademais, faz-se necessário o estudo e análises do comportamento térmico dos materiais utilizados na vedação e envoltória dos edifícios, bem como a sua transmitância térmica no ambiente construído, o uso de aberturas que proporcionam ventilação natural e ainda soluções construtivas e adaptativas capazes de proporcionar o conforto térmico dentro das edificações. Para isto, a proposta é a realização da coleta de dados que definem o clima local, sugestão de soluções bioclimáticas capazes de proporcionar conforto térmico para as edificações e a elaboração de um compósito natural de casca de café, produzindo uma placa para aplicação na envoltória da edificação através de protótipos a fim de compreender o comportamento e a transmitância térmica deste material, comparando o protótipo de envoltória convencional em bloco cerâmico com o protótipo envolto pelas placas desenvolvidas e sua contribuição direta no que tange o quesito de desempenho térmico do material. Por fim, este trabalho tem o intuito de estabelecer as características do clima regional, as estratégias bioclimáticas indicadas para as edificações locais, analisar os projetos e materiais de uso predominante na cidade e verificar as possíveis soluções para adaptação das edificações existentes capazes de proporcionar um melhor desempenho térmico do espaço habitado.

Palavras-chave: Conforto térmico. Café. Desempenho térmico. Estratégias bioclimáticas.

ABSTRACT

The civil construction sector is responsible for producing large amounts of waste, often disposing of it improperly, resulting in serious environmental problems. The awareness of society about the rational use of natural resources, the use of recycled or reused materials and the proper application of materials in buildings are some guidelines that corroborate for the reduction of environmental impacts. Several researchers have developed studies about the potentials that exist in the use of natural materials in civil construction, among them is the coffee husk, object of study of this research. The proposal for the elaboration of this work is based on a bibliographic survey and collection of climatic data, with the aim of producing the local bioclimatic map, providing consistency and effective theoretical basis in order to achieve applicable solutions and with positive results to what is proposed. In addition, it is necessary to study and analyze the thermal behavior of the materials used in the sealing and envelope of buildings, as well as their thermal transmittance in the built environment, the use of openings that provide natural ventilation and also constructive and adaptive solutions capable of providing thermal comfort within buildings. For this, the proposal is to carry out the collection of data that define the local climate, suggestion of bioclimatic solutions capable of providing thermal comfort for the buildings and the elaboration of a natural coffee husk composite, producing a plate for application in the envelope building through prototypes in order to understand the behavior and thermal transmittance of this material, comparing the conventional ceramic block prototype with the prototype wrapped by the developed plates and their direct contribution in terms of the material's thermal performance. Finally, this work aims to establish the characteristics of the regional climate, the bioclimatic strategies indicated for local buildings, analyze the projects and materials of predominant use in the city and check the possible solutions for adaptation of existing buildings capable of providing a better thermal performance of the inhabited space.

Keywords: Thermal comfort. Coffee. Thermal performance. Bioclimatic strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)	155
Figura 2 - Carta Bioclimática por Givoni.....	21
Figura 3 - Participação percentual na produção de café por UF.	27
Figura 4 - Zoneamento bioclimático brasileiro segundo a NBR 15220.	29
Figura 5 - Estação meteorológica do Laboratório de Agrometeorologia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB.....	32
Figura 6 - Localização do estado da Bahia em relação ao Brasil e a localização de Vitória da Conquista em relação ao estado da Bahia, respectivamente.	34
Figura 7 - Área destinada à implantação dos protótipos, localizada na Rua A, quadra B, número 12, Loteamento Morumbi, Distrito Industrial dos Imborés, Vitória da Conquista – Bahia.....	35
Figura 8 - Planta baixa para a execução dos protótipos em alvenaria convencional, bloco cerâmico de 6 furos.....	36
Figura 9 - Planta de cobertura – Telha termoacústica, com inclinação de 5%.....	37
Figura 10 - Protótipos finalizados – Sem revestimento (A) e com revestimento em placa de casca de café (B).....	37
Figura 11 – Aferição e comparação de temperatura entre a estação meteorológica e o datalogger HT-70.....	38
Figura 12 - Cafeeiro (A) e frutos do cafeeiro da espécie conhecida como Catuaí vermelho (B) e amarelo (C).....	39
Figura 13 - Processo de colheita e beneficiamento do café na Fazenda Vidigal – (A) colheitadeira responsável pela colheita do fruto no cafezal; (B) detalhe da estrutura do maquinário; (C) cascas de café descartadas após o processo de secagem dos grãos.....	40
Figura 14 - (A) Galpão onde acontece todo o processo de beneficiamento do café; (B) secadora mecânica dos grãos; (C) separação mecânica dos grãos; (D) café ensacado para exportação...41	
Figura 15 - Diferentes etapas do café, desde o processo da colheita (A), perda da primeira casca (B), após a secagem há a soltura do pergaminho (C) e o fruto já lavado, pronto para a secagem (D).....	41
Figura 16 - Resina utilizada como aglutinante, misturada cm a casca de café triturada.....	42
Figura 17 - Ensaio de Densidade da casca de café triturada.....	43
Figura 18 - Ensaio de Umidade no MB23.....	43
Figura 19 - Processo de captação das imagens MEV para a casca de café.....	44
Figura 20 - Imagens produzidas pelo MEV da Casca de café (Escala: 20µm e 200µm).....	45
Figura 21 - Liquidificador profissional e cascas de café in natura e trituradas.....	45
Figura 22 - Material natural (A); separação do material em peneira 60mesh (B); material após processo de trituração preparado para uso (C).....	46

Figura 23 - Processo de produção e traço da placa de casca de café.....	47
Figura 24 - Estufa utilizada no processo de secagem.....	47
Figura 25 - Projeto 3D da placa composta de argamassa e casca de café.....	48
Figura 26 - Montagem das placas em formas.....	49
Figura 27 - Secção da placa composta por casca de café, resina e envolta por argamassa de concreto.....	50
Figura 28 - Fixação das placas nos protótipos com <i>inserts</i> metálicos.....	51
Figura 29 - Instalação dos aparelhos Dataloggers nos protótipos A e B.....	52
Figura 30 - Carta bioclimática desenvolvida por meio do software Analysis Bio para Vitória da Conquista – BA.....	54
Figura 31 - Estratégias bioclimáticas ao longo do ano.....	55
Figura 32 - Comparação calculada entre bloco cerâmico de 06 furos com argamassa e sem argamassa aplicada.....	56
Figura 33 – Temperaturas máximas e mínimas registradas pelos <i>dataloggers</i> HT-70.....	57
Figura 34 - Temperaturas internas e externa verificadas no dia mais quente do período analisado – 11 de maio.....	58
Figura 35 - Temperaturas internas e externa verificadas no dia mais frio do período analisado dia 04 de agosto.....	59
Figura 36 - Gráfico das quatro semanas mais quentes analisadas entre maio a agosto.....	60
Figura 37 - Gráfico das quatro semanas mais frias analisadas entre os meses maio a agosto..	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CECAFÉ	Conselho dos Exportadores de Café do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ESMET	Estação Meteorológica
HQE	Haute Qualité Environnementale
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBC	Instituto Brasileiro do Café
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)
MDF	Medium-Density Fiberboard
MDI	Methylene Diphenyl Diisocyanate
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Normas Brasileiras
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
SINCAFÉ-MG	Sindicato das Indústrias de Café do estado de Minas Gerais
TAS	Thermal Analysis software
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Sustentabilidade na Construção Civil.....	14
2.2 Desempenho Térmico das Edificações.....	16
2.3 Conforto Térmico na Construção Civil.....	17
2.4 Bioclimatologia.....	19
2.5 Isolantes Térmicos.....	22
2.6 Compósitos para Isolamento Térmico.....	23
2.7 Resíduos Agrícolas.....	24
2.8 Cultivo, produção e beneficiamento do café.....	26
2.9 Normativas aplicadas.....	28
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
3.1 Tipo de Pesquisa.....	31
3.2 Materiais e Métodos.....	31
3.3 Caracterização do local de estudo.....	33
3.3.1 Localização da instalação dos protótipos.....	34
3.3.2 Execução dos protótipos.....	35
3.3.3 Casca de Café.....	39
3.3.4 Resina.....	42
3.3.5 Ensaio da Densidade.....	42
3.3.6 Ensaio da Umidade.....	43
3.3.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	44
3.3.8 Camada para Isolamento Térmico da Placa.....	45
3.3.9 Separação Granulométrica da Casca de Café.....	46
3.3.10 Confecção das Placas em Concreto.....	48
3.3.11 Fixação das placas nos protótipos.....	50
3.3.12 Avaliação do Desempenho Térmico nos Protótipos.....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Com o intenso desenvolvimento da civilização industrial, o uso de recursos naturais se fez crescente. As tecnologias que englobam a construção civil, bem como o seu uso convertem-se na degradação dos recursos ambientais, consumo de energia e geração de resíduos que, muitas vezes, não são renováveis. Cunha (2012) ressalta a importância na busca por possíveis soluções e alternativas na escolha e aplicação dos materiais nas edificações, fomentando a utilização de tecnologias que sejam capazes de diminuir a geração de recursos e incentivem a aplicação de produtos recicláveis e naturais, reduzindo assim o impacto ao meio ambiente no decurso do ciclo de vida destes produtos.

O presente trabalho tem como tema o estudo do conforto térmico em edificações, focando principalmente na pesquisa acerca do desempenho térmico das construções e a utilização de materiais naturais em fachadas ventiladas para fins de tratamento térmico em edificações no clima da cidade Vitória da Conquista – BA. Conforme abordado por Frota e Schiffer (2003), através do conhecimento do clima, bem como a análise dos mecanismos de troca de calor e do comportamento térmico dos materiais, é possível realizar uma intervenção consciente da arquitetura, abarcando os dados referentes ao meio ambiente externo, de forma que seja possível aproveitar o que este clima proporciona de agradável e atenuar seus aspectos negativos no interior dos ambientes ocupados. Além disso, para a adoção correta de estratégias bioclimáticas em projeto, é de grande relevância a análise bioclimática do local onde se pretende construir a edificação a partir dos dados climáticos disponíveis.

Diante do exposto, a hipótese desse trabalho é a fabricação de placas compostas por um compósito de casca do café (*coffea L.*), resina a base de água e cimento, concebendo como produto final um material que seja resistente e capaz de promover melhorias térmicas internas para o ambiente construído, passível de serem aplicadas em edificações novas ou já existentes, a fim de proporcionar qualidade de vida aos usuários, conforto térmico do espaço habitado e soluções de melhorias quanto a eficiência energética da edificação.

Vitória da Conquista é classificada como uma cidade de clima tropical, amenizado pela considerável altitude, chegando a 1.100 metros nas áreas mais elevadas, concentrando os períodos de chuva entre os meses de outubro a março. Por ser considerada uma cidade com variação térmica relevante, a pesquisa contribui para proporcionar uma melhor qualidade nas edificações no que tange o quesito de desempenho e conforto térmico dos espaços ocupados,

principalmente nas estratégias construtivas para as pesquisas científicas nas áreas de construção civil e climatologia.

Nesse seguimento, a pesquisa preconiza discorrer acerca de estratégias capazes de amenizar os impactos ambientais causados pela construção civil que vão desde o consumo de recursos naturais, alteração do solo, áreas de vegetação, até os reflexos no aumento do gasto energético gerado pelas edificações por um projeto mal executado ou até mesmo pela aplicação de materiais inadequados. O ramo da construção civil é um dos que possuem maior capacidade para absorção de resíduos e subprodutos advindos de outros setores industriais, a exemplo de argamassas, blocos, materiais para pavimentação, concreto não estrutural, compósitos, dentre outros (SCHULTZ; FERREIRA, 2004).

O crescimento econômico mundial é responsável pelo grande aumento na demanda de alimentos. Logo, as grandes áreas para o cultivo de grãos aumentaram exponencialmente a produção agrícola e, conseqüentemente a busca pela modernização dos equipamentos para suprir tal exigência em menor quantidade de tempo. Entretanto, o cultivo e beneficiamento decorrente dessa grande produção tem ocasionado diversos problemas ambientais, a exemplo do montante de resíduos sem destinação adequada resultantes do tratamento, utilização e descarte desses produtos.

Atualmente, diversos pesquisadores têm dedicado estudos acerca do potencial no reaproveitamento e utilização de materiais orgânicos na construção civil (PINTO et al., 2011). De acordo com o Sindicato das Indústrias de Café do estado de Minas Gerais (SINDICAFÉ - MG, 2004), o maior Parque Cafeeiro mundial está localizado no Brasil, mais especificamente no estado de Minas Gerais. As atividades que envolvem a despolpa do fruto colaboram para a diminuição direta no custo da secagem e ainda para a melhoria na qualidade da bebida, porém a quantidade de resíduos gerada para tais atividades é responsável por volumes consideráveis de resíduos sólidos, ricos em materiais orgânicos e inorgânicos que, ao serem descartados sem o tratamento correto, trazem sérios problemas ambientais, tais como contaminação da água e do solo, degradação ambiental e comprometimento da fauna e flora (NOGUEIRA et al., 2007).

Destarte, levando em consideração o problema ambiental advindo da crescente produção agrícola e, conseqüentemente, a geração de resíduos agrícolas juntamente com o grande descarte desordenado dos rejeitos da construção civil busca-se neste trabalho alternativas praticáveis para a concepção de um compósito formado a partir da casca do café, material leve e capaz de proporcionar isolamento térmico em fachadas ventiladas.

A escolha do tema sobreveio ao perceber nos projetos e execuções das edificações grandes problemas relacionados ao conforto térmico e eficiência energética existentes nos mais

diversos ambientes existentes. Grande parte dos profissionais do âmbito da construção civil, mais especificamente engenheiros e arquitetos desconhecem a existência de estratégias construtivas capazes de proporcionar melhorias térmicas de acordo com o clima local, a escolha do material adequado e posicionamento dos espaços construídos.

No Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento existem objetivos específicos os quais justificam a aplicação na Universidade do Vale do Taquari. Conforme UNIVATES (2019), um dos objetivos da linha de pesquisa em Tecnologia e Ambiente é o desenvolvimento e a utilização de metodologias e tecnologias aplicadas ao ambiente construído a fim de amenizar o impacto ambiental em atividades antrópicas.

A finalidade deste trabalho é compreender e apresentar uma proposta de expressiva relevância ambiental, aspirando a utilização de resíduo orgânico que possui descarte no meio ambiente, apontando a viabilidade econômica ao desenvolver um produto compósito natural constituído de material alternativo à construção civil. Ademais, propõe ainda uma análise do desempenho térmico referente ao material aplicado em protótipo, com fachadas ventiladas, fomentando a economia local e apresentando uma nova finalidade para os resíduos agrícolas descartados na agroindústria cafeeira da região.

Assim, o objetivo geral desse estudo foi desenvolver um novo material de construção para isolamento térmico utilizando a casca de café para aplicação em fachadas ventiladas, priorizando o conforto térmico das edificações e como objetivos específicos: desenvolver a carta bioclimática para a cidade de Vitória da Conquista – BA através da análise da coleta de dados da estação meteorológica; construir dois protótipos para a avaliação das propriedades e transmitância térmica dos materiais aplicados nas fachadas ventiladas; produzir um compósito natural composto por casca de café para ser utilizado com a finalidade de auxiliar no tratamento térmico; aplicar material desenvolvido para isolamento térmico das fachadas ventiladas em protótipo e avaliar o seu comportamento térmico, comparando os materiais utilizados para vedação das envoltórias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os conceitos que permeiam a temática desta pesquisa, com o intuito de apresentar bibliografias que serão utilizadas como contribuição teórica para o desenvolvimento da dissertação. Atualmente, existe uma crescente demanda pela pesquisa de novos materiais com foco em fontes naturais e renováveis, sendo oportuna a ideia da diminuição do impacto ambiental nos processos de produção e disposição dos materiais ao fim da sua vida útil e também os resíduos advindos do seu uso. Assim, serão abordados conteúdos relacionados aos materiais empregados na pesquisa e elementos essenciais para a sua realização.

2.1 Sustentabilidade na Construção Civil

Na percepção de Boff (2012), sustentabilidade pode ser considerada toda atividade que busca a conservação das circunstâncias que geram energia, com o intuito de beneficiar todos os seres humanos, tendo ainda como objetivo de apoiar e proporcionar continuidade às necessidades tanto das gerações presentes quanto as futuras, assim sendo que o capital natural possa ser conservado e engrandecido.

Na década de 80, o desenvolvimento sustentável teve seu primeiro fundamento legal determinando através da Constituição Federal de 1988, mais especificamente nos artigos 170, VI e 225, os quais obrigam ao Poder Público o dever de preservar e defender o meio ambiente, para as gerações presentes e futuras. Além disso, prevê ainda um estudo prévio acerca do impacto ambiental para diversas obras e demais atividades que possam causar danos ao meio ambiente. O conjunto de leis sobre o assunto abrange resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), portarias do Ministério do Trabalho e Emprego (TEM), do Código Florestal e ainda das normas técnicas, principalmente àquelas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Em 1992, aconteceu a Conferência das Nações Unidas na cidade do Rio de Janeiro, abordou acerca do tema Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) e transpareceu a maneira como a sociedade visualizava a sua relação direta com o planeta. A partir deste ano a comunidade política internacional ratificou a compreensão e a necessidade de aliar o desenvolvimento socioeconômico ao uso dos recursos naturais. Ainda na década de 90, o ramo

da construção civil começa a utilizar metodologias com consciência e qualidade ambiental, a exemplo do método inglês Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) responsável por instituir padrões para as práticas mais indicadas do projeto, concedendo créditos em conformidade com o desempenho atingido. Um outro método americano, denominado Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) propõe buscas pela melhoria do bem-estar dos usuários do espaço, pelo aumento no desempenho ambiental e ainda no retorno econômico dos edifícios. Semelhante aos métodos citados anteriormente, o método francês Haute Qualité Environnementale (HQE) tem como intuito a promoção da qualidade ambiental das edificações fundamentando-se numa gestão de qualidade ambiental para o desenvolvimento ainda em fase projetual (SALGADO, 2012).

Em 2015, diversos países e a população mundial puderam se reunir em busca de novos caminhos para proporcionar melhorias na qualidade de vida das pessoas em todo o mundo. A Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu através de uma nova agenda de desenvolvimento sustentável acerca da mudança climática, traçando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que compõe a Agenda 30 e se respaldam nos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Estes objetivos se estabeleceram mundialmente com metas que norteiam as instituições, organizações e países a fim de desenvolverem projetos que propiciem a inclusão e o desenvolvimento da sociedade de forma mais justa e igualitária. A Agenda 30 possui o total de 17 objetivos conforme apresentado na figura 1 (ONU 2015), dos quais 5 tem relação com a construção civil, sendo eles: ODS 6 – Água e Saneamento para todos; ODS 7 – Energia; ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura; ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis; e ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis.

Figura 1 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: ONU (2015)

Um aspecto fundamental para atender a questão da sustentabilidade é a escolha de materiais com derivação de fontes renováveis, contendo componentes reutilizados ou reciclados. Para que haja uma construção sustentável, faz-se necessário o conhecimento e alinhamento prévio que precede o projeto e a execução, analisando a escolha do terreno, o estudo do entorno, a definição de um programa de necessidades e a formulação do projeto arquitetônico, não descartando ainda a forma mais adequada para a execução da obra, conservação e manutenção da edificação pós ocupação e durante todo o seu ciclo de existência no espaço ocupado (SEMAD, 2008).

2.2 Desempenho Térmico das Edificações

O desempenho térmico de uma edificação está relacionado com diversos aspectos, tais como: o espaço habitado, os parâmetros climáticos interiores, o clima onde está implantada a edificação e as condições meteorológicas que deliberam os fluxos energéticos da mesma, sendo estes: temperatura do ar, velocidade do vento e incidência da radiação solar (GONÇALVES et al., 2004). Logo, não é possível analisar uma construção somente por uma única referência, visto que o desempenho térmico se dá por um conjunto de fatores existentes e aplicados ao edifício construído.

Os componentes aplicados na envoltória do edifício (paredes, piso, cobertura e aberturas) que delimitam o espaço existente entre ambiente externo e interno são considerados para a determinação de perdas e ganhos de calor entre esses locais. O espaço projetado, a orientação da implantação da edificação, as propriedades termo físicas dos materiais aplicados e as aberturas de portas e janelas determinam o desempenho térmico em relação ao ambiente ocupado, além das cargas internas que também podem influenciar diretamente no desempenho térmico (SORGATO, 2009). A forma arquitetônica também pode ser capaz de influenciar no conforto ambiental e consumo energético de uma edificação, bem como a sua volumetria aplicada, que interfere diretamente no ganho de calor da edificação, através do componente aplicado na envoltória (LAMBERTS et al., 2004).

As condições para o conforto térmico das edificações estão vinculadas diretamente com o seu funcionamento e as sensações do corpo humano. Sensações de frio ou calor tem um significado de que o organismo está perdendo ou ganhando calor para equilibrar a temperatura interna, que é por volta dos 37 °C. Portanto, o conforto térmico quantifica o nível de sensação de agradabilidade do indivíduo em relação às condições térmicas presentes no ambiente e o seu desconforto está ligado a instabilidade no balanço térmico da troca entre o calor proveniente do

corpo humano e o calor perdido para o ambiente. Partindo desse princípio, das sensações térmicas humanas, condições climáticas e das características térmicas dos materiais aplicados nas edificações ocupadas pelas pessoas, obtém-se as condições necessárias para a elaboração de um projeto capaz de atender as exigências de conforto térmico (FROTA; SCHIFFER, 2003).

As condições climáticas são variáveis para cada região analisada. Na construção civil, a escolha dos materiais que compõem a estrutura de uma edificação está associada às questões que envolvem a resistência mecânica, segurança e custo, por vezes não sendo relevante o desempenho térmico da mesma. Os altos valores dispendidos para propiciar refrigeração no verão e aquecimento no inverno de uma edificação com a finalidade de proporcionar o conforto térmico chamam atenção para esta situação. Para se obter uma melhora na eficiência energética dos edifícios, deve-se considerar as questões vinculadas à ênfase social que permeiam as questões ambientais, descarte dos resíduos e o esgotamento dos recursos não-renováveis (MATI-BAOUCHE et al., 2014).

A arquitetura sustentável com enfoque na eficiência energética pode ser resumida numa combinação de conforto ambiental, técnicas construtivas e aplicação de materiais nas edificações construídas. Neste sentido, Simionovski (2018) defende que a presença da sustentabilidade nas edificações ultrapassa o quesito da construção das edificações, permeando combinações de gestão do espaço construído, de sustentabilidade aplicada, educação e de uma mudança cultural da sociedade.

2.3 Conforto Térmico na Construção Civil

O termo conforto térmico é aplicado para quantificar o nível de satisfação que o indivíduo apresenta ao estar dentro de um determinado ambiente. Já a relação de insatisfação pessoal deve-se a falta de equilíbrio entre as diferenças de calor geradas pelo corpo humano e o calor dissipado para o ambiente. Vale salientar que a conceituação de conforto térmico ultrapassa as questões que englobam as variações climáticas. Falar sobre conforto térmico exige a compreensão de vários fatores, tais como: questões psicológicas, fisiológicas, escolha de vestimentas, práticas culturais e até mesmo o estilo de vida que o usuário leva, fazendo com que esse tema seja considerado, portanto, interdisciplinar e subjetivo (RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015). No entendimento de Serafim (2017), quando o usuário do espaço construído apresenta satisfação no ambiente em que ocupa, pode-se afirmar que este indivíduo está em condição de conforto térmico. Mas, existe uma vertente que sustenta o termo “neutralidade térmica”, levando em consideração outras variáveis que os padrões convencionais

de conforto não avaliam. Logo, para a manutenção do conforto térmico é necessário existir um equilíbrio entre o corpo e o ambiente.

Com as mudanças climáticas, o aumento da temperatura global e a existência de períodos mais secos, houveram aumentos de temperatura em regiões que apresentam condições climáticas desagradáveis. Na percepção de Sable (2015), por milhares de anos os indivíduos utilizavam de materiais naturais para sobrevivência e proteção térmica, dentre esses materiais podem ser citados o musgo, a lã de animais, a argila, a palha, dentre outros. Porém, a partir do século XX, houve a inserção e desenvolvimento de novos materiais sintéticos, considerando a propensão global para a redução das emissões de CO₂, trazendo à tona o pensamento verde.

O estudo do conforto térmico pretende garantir um ambiente agradável, capaz de estimular a produtividade, a segurança e a saúde do indivíduo (DALLASTRA, 2019). Frota e Schiffer (2005) corroboram com esta afirmação quando denotaram através de estudos feitos em 1916 que apontaram que o desconforto térmico no ambiente de trabalho foi capaz de reduzir o desempenho dos funcionários de até 40% quanto maior fosse a temperatura.

O conforto ambiental é estabelecido através do dimensionamento dos ambientes, da volumetria adotada, do posicionamento e disposição das aberturas dos vãos em relação ao sol e a ventilação existente (KOWALTOWSKI e LABAKI, 1993). Logo, a concepção do projeto arquitetônico é a fase primordial para promover o conforto térmico nos espaços construídos a partir de soluções inteligentes de organização espacial dos ambientes e ventilação natural, uma vez que para a correção desses problemas demandam investimentos mais altos e, muitas vezes, onerando diretamente no consumo de energia.

Para Silveira (2014), os indicadores de conforto térmico foram desenvolvidos para estabelecer a sensação térmica dos indivíduos que ocupam um determinado espaço, expostos a uma determinada condição de variáveis ambientais e pessoais. Usualmente, as formas existentes para quantificar o conforto térmico aplicam a análise das características pessoais e ambientais, concebendo um parâmetro único, indicador de vários fatores condicionantes do desconforto, estabelecendo ainda intervalos de conforto relativo a estes critérios.

As edificações são capazes de assegurar níveis aceitáveis de conforto aos usuários através da ventilação natural. Para Lamberts et al. (2004), a arquitetura residencial tem grande potencial na utilização de recursos naturais de condicionamento térmico e iluminação. Um estudo feito por Liping e Hien (2007) investigaram quatro diferentes estratégias de ventilação, diversificando os materiais dos componentes da envoltória da edificação, sombreamento e aberturas de janelas, simulados através do *Thermal Analysis software* (TAS). Neste experimento foram testados 14 tipos diferentes de paredes, com diferentes valores de inércia,

condutividade térmica e ainda quatro métodos de ventilação (ventilação constante, não ventilado, diurna e noturna). Como resultado, a menor quantidade de horas de desconforto foi a estratégia de ventilação constante. Este estudo indicou que os componentes da envoltória da edificação não isolados e com inércia térmica são opções ideais para edificações ventiladas naturalmente e climas quentes e úmidos.

2.4 Bioclimatologia

A assimilação e aplicação adequada de estratégias bioclimáticas é de grande relevância para que haja uma possível redução dos impactos ambientais advindos da construção civil. Tikopoulos; Karatza; Paravantes (2004) apontam que alguns dos impactos ambientais que podem ser elencados são o consumo energético exacerbado e a emissão de CO₂, visto que o conforto pode ser proporcionado por meios naturais, que dispensam o uso de métodos artificiais para o condicionamento ambiental. É importante que os profissionais envolvidos na construção civil dominem o conhecimento acerca dos aspectos relacionados ao clima da região onde o projeto da edificação será construído, a fim de garantir as melhores soluções projetuais para proporcionar o conforto térmico adequado para tal construção.

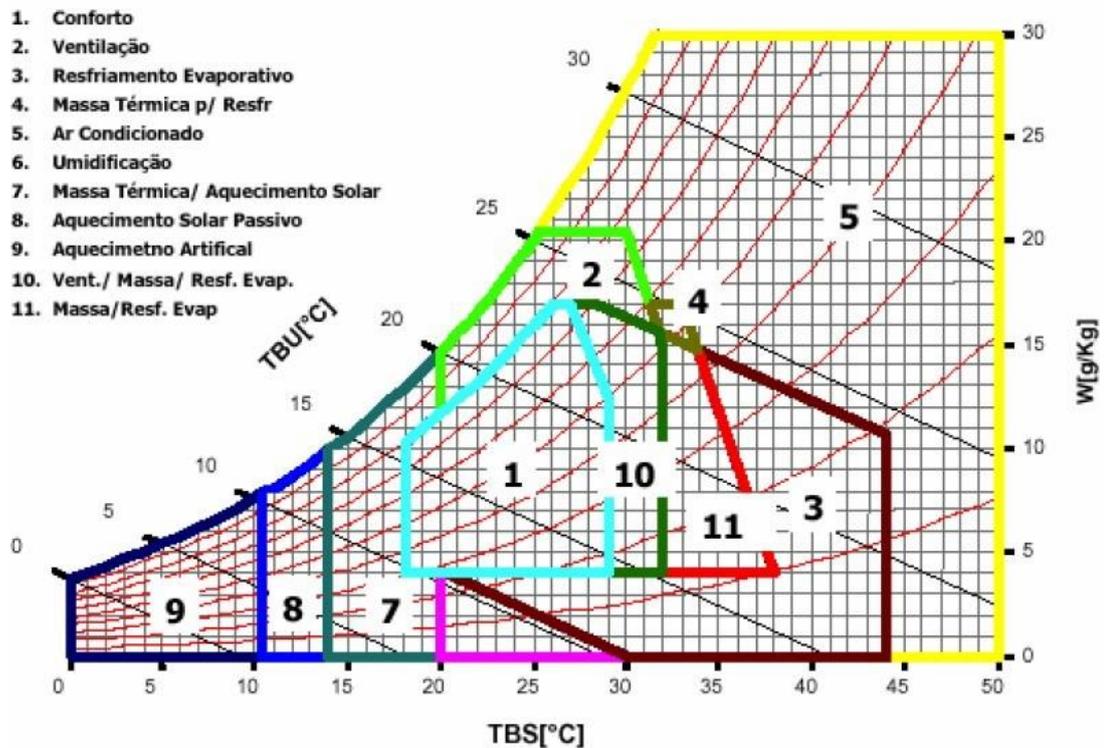
A bioclimatologia emprega a arquitetura e as condições propícias do clima, através de elementos e estratégias apropriadas de projeto com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico para o indivíduo. Na concepção de Lamberts e Triana (2007), existe uma inter-relação entre homem, clima e habitat, capazes de proporcionar uma sensação de conforto térmico aos usuários com um baixo consumo de energia, utilizando os condicionantes climáticos que devem ser analisados ainda na fase projetual. Alguns países adotam o desempenho do conforto térmico como requisito fundamental para aprovação dos projetos arquitetônicos. Após determinação dos aspectos bioclimáticos, é relevante observar como a edificação responde em relação ao gasto energético e qual a necessidade do uso de condicionamento artificial para proporcionar conforto térmico à edificação. Alguns aspectos são capazes de favorecer a diminuição de gastos energéticos e, conseqüentemente, aumentar a sua eficiência energética quanto ao consumo, tais como a correta orientação do edifício em relação ao sol e ventos predominantes da região; ventilação cruzada dentro dos ambientes construídos; iluminação natural sempre que possível; escolha dos materiais adequados para revestir a edificação; escolha de materiais isolantes ou não nas paredes e, por fim, escolha de estratégias favoráveis ao clima da região (ASSIS et al., 2007; LAMBERTS; TRIANA, 2007).

No Brasil, a NBR 15.220/2003 (Desempenho Térmico das Edificações) estabelece recomendações acerca do desempenho térmico das edificações conforme as diferentes zonas bioclimáticas existentes no país. Nesta mesma norma, está disposto o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, dividido em oito zonas, apresentando recomendações de diretrizes construtivas e detalhamentos estratégicos para condicionamento térmico passivo para habitação de interesse social (ABNT, 2005).

Na década de 60, Victor Olgyay propôs o conceito que relacionou arquitetura e clima, originando o termo “projeto arquitetônico bioclimático”, que propõe a harmonia entre a edificação construída e o espaço natural, a fim de reduzir os impactos ambientais causados pela construção civil e garantindo o conforto térmico aos usuários (OLGYAY, 1998). Entretanto, a metodologia adotada por Olgyay era restrita, uma vez que não atendia com a mesma eficiência as regiões que possuíam o clima quente, já que não era levado em consideração a inércia térmica dos materiais que envolviam a edificação e a radiação solar. Diante disto, em 1969, Baruch Givoni apresenta uma nova metodologia, relacionando a temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, pressão de vapor e umidade do ambiente. Essa carta bioclimática desenvolvida por Givoni possibilita estabelecer o efeito de conforto térmico na edificação através de estratégias construtivas adequadas ao clima (KINSEL, 2009).

Para Manzano-Agugliato et al. (2015), a carta bioclimática caracteriza os valores analisados em zonas de conforto, ventilação, resfriamento, aquecimento, condicionamento artificial de resfriamento ou aquecimento, umidificação, etc, indicando através de um diagrama psicrométrico (figura 2), apontando os períodos do ano onde existe conforto térmico natural no ambiente projetado e as possíveis medidas necessárias para assegurar de forma natural e/ou artificial este conforto ao usuário.

Figura 2 - Carta Bioclimática por Givoni.



Fonte: Givoni (1992) adaptada pela autora.

A zona 1 compreende os valores de temperatura que variam de 18 a 29 °C, é onde as pessoas sentem conforto. Essa sensação pode ser atingida em faixas de umidade relativa entre 20% e 80%. Caso a temperatura ultrapasse os 29 °C ou a umidade seja superior a 80% faz-se necessário o uso de ventilação para proporcionar uma melhor sensação térmica. Portanto, essa é a estratégia definida para a zona 2. Para tanto, pode ser proporcionada a partir da disposição da edificação, de acordo com a incidência dos ventos predominantes local e aberturas que proporcionem uma ventilação cruzada com renovação de ar permanente (LAMBERTS, 2007). Na percepção de Costa; Freire; Kiperstok (2019) a utilização dessa estratégia no Brasil é de grande relevância e apresenta bom desempenho na oferta de conforto térmico em regiões de clima quente.

A zona 3, também conhecida como *Resfriamento Evaporativo* é apresentada quando acontece uma redução na temperatura através da evaporação da água, aumentando a umidade relativa do ambiente. Já a zona 4, denominada de *Zona Térmica de Resfriamento* com temperaturas que ultrapassam os 29 °C, enquanto a zona 7 é a *Zona Térmica para Aquecimento*, com temperaturas inferiores a 20 °C. A zona 5 é a *Zona de Ar Condicionado*, apontada para regiões cujo o clima é característico por possuir temperaturas mais elevadas. Já a zona 8 e 9

são, respectivamente, *Zona de Aquecimento Solar Passivo* e *Aquecimento Artificial*, com temperaturas variando entre 0 °C a 14 °C. Por fim, as zonas 10 e 11 foram elaboradas a partir das confluências existentes nas zonas de resfriamento evaporativo, ventilação e massa térmica para resfriamento, indicando a aplicação das estratégias de maneira diversificada em conjunto ou separadamente (LEÃO, 2007).

Diante do exposto, pode-se concluir que as zonas bioclimáticas foram especificadas de acordo com o grau de equivalência das características climáticas apresentadas em cada região e, para cada zona, recomendam-se estratégias construtivas que podem ser utilizadas a fim de proporcionar maior conforto ambiental no espaço construído. Logo, quando utilizamos da arquitetura bioclimática, contribuímos substancialmente para a diminuição do consumo energético das construções convencionais, auxiliando diretamente na conservação dos recursos naturais do planeta e, conseqüentemente, com a preservação ambiental (SOUTULLO et al., 2016).

2.5 Isolantes Térmicos

Os isolantes térmicos são materiais que possuem baixa condutividade térmica, sendo empregados com o intuito de reduzir as trocas de calor entre o meio externo e interno do ambiente construído. O isolamento térmico pode ser empregado para diversas finalidades, a exemplo do conforto térmico, condicionamento da temperatura em determinado ambiente, proteção das estruturas, evitando dilatações em lajes, estocagem e processamento de alimentos, economia no consumo de energia, dentre outros (FENILLI, 2008).

Para ser considerado apropriado e eficaz, o material com propriedade de isolante térmico deve possuir um baixo coeficiente de condutividade térmica, resistência mecânica, estabilidade física e química, baixo coeficiente de expansão térmica, baixa difusividade térmica, resistência a insetos, fungos e roedores, resistência específica ao ambiente de utilização e ser de fácil aplicação (CRUZ; FERREIRA; MARINHO, 2009). De acordo Rosa et al. (2015), os materiais naturais que possuem ampla escala de utilização atualmente no mercado são as cascas de cereais, cortiça, penas de aves, argila expandida e fibras de madeira. Já os materiais isolantes térmicos industrializados mais utilizados no Brasil são lã de vidro, lã de rocha e poliuretano.

Para Sorgato (2009), os componentes aplicados na envoltória da edificação têm a função principal de separar o ambiente interno do externo. Esses materiais aplicados possuem grande importância na determinação de perdas e ganhos de calor entre o ambiente construído e o meio externo. A forma arquitetônica, a orientação das paredes, as propriedades termofísicas dos

materiais e as aberturas para passagem de ventilação natural são primordiais na determinação do desempenho térmico da edificação.

Uma pesquisa realizada por Benmansour et al. (2014) analisaram a utilização de um material composto por cimento natural, areia e fibras de tamareira, tendo a finalidade de uso como material isolante térmico. Os resultados obtidos apontaram que o uso de fibras de tamareira foi capaz de reduzir a condutividade térmica e a resistência térmica do compósito, diminuindo o peso final do material. Observaram ainda que, com o aumento na quantidade de fibras, havia uma diminuição da resistência mecânica da argamassa, encontrando valores aceitáveis em baixa concentração de 5%, 10% e 15% de fibras. Com esses percentuais, os autores concluíram que é possível adicionar fibras na argamassa em baixa concentração e produzir um compósito com boas características mecânicas e físicas, podendo ser aplicados na construção civil como materiais inovadores para a eficiência energética nas edificações.

2.6 Compósitos para Isolamento Térmico

De acordo Macedo et al. (2011), compósitos naturais podem ser definidos como material resultante da junção de dois ou mais materiais de forma e composição diferentes, capaz de manter a sua identidade preservada, não apresentando mistura ou dissolução entre os seus constituintes. A ideia de produzir um compósito é poder harmonizar diferentes materiais com a finalidade de criar um único componente que apresente características superiores às dos componentes em seu estado puro. Através da utilização de materiais compósitos é viável a obtenção de produtos com distintas propriedades, dentre elas: resistência a altas temperaturas, leveza, ductibilidade e resistência a choques.

Normalmente, os materiais compósitos são constituídos por duas fases: uma intitulada matriz, esta é contínua e envolve uma segunda, denominada de fase dispersa, servindo como reforço para a primeira. Esse material final possui propriedades que, separadamente, não seriam capazes de atingir a mesma propriedade. Em se tratando de materiais associados, os compósitos podem ser divididos em três grupos: compósitos reforçados por partículas, reforçados com fibras e, por fim, compósitos estruturais (ROSA, 2019).

Evon et al. (2014) desenvolveram um compósito com fibras utilizando o resíduo gerado a partir da extração do óleo de girassol, produzindo painéis por termoprensagem, aplicando diferentes temperaturas e pressão na moldagem, avaliando a influência final nos resultados dos testes de condutividade térmica, dureza, flexão e resistência a impactos, encontrando o melhor valor obtido igual a 0,0885 W/(m.K). Como resultado do experimento, foi concluído que os

materiais desenvolvidos apresentaram desempenho correlato a alguns materiais industrializados.

Cravo et al. (2015) qualificaram as propriedades térmicas de um compósito a base de casa de amendoim e fibra de coco, ambos classificados como resíduos agrícolas, nas proporções de 50/50, adicionando 15% de resina de poliuretano bi-componente à base de óleo de mamona. Neste ensaio, os resíduos agrícolas foram triturados, peneirados, separados e misturados a resina, posteriormente moldados em formas para avaliação da condutividade térmica. O resultado dessa avaliação foi de 0,297 W/(m.K). Os pesquisadores relataram ainda que o compósito natural indica potencial para o emprego como material para isolamento térmico, em contrapartida afirmou-se acerca da necessidade de agregar um revestimento a fim de garantir a constância das propriedades mecânicas do produto.

Rosa e Scherer (2018) avaliaram o emprego de resíduos agrícolas advindos do sabugo de milho e da casca do arroz em compósitos naturais para fins de isolamento térmico em sistemas de vedações verticais, em atendimento à legislação pertinente à região sul do país. Os sistemas foram avaliados e comparados através dos valores encontrados de transmitância térmica ao fator de ganho de calor através da luz solar. Os resultados alcançados ratificam a melhoria do desempenho térmico nas paredes que foram aplicados os compósitos, concluindo que a utilização do sabugo de milho e da casca do arroz possuem grande potencial para o isolamento térmico de fachadas.

Mesquita Júnior (2018) aponta que os painéis produzidos a partir do compósito cimento-serragem, fabricados a partir de partículas de madeira, água, aditivos químicos e aglutinante mineral, já são aceitos e utilizados pelos mercados exigentes, como é o caso da Ásia e Europa. De acordo com Beraldo (2002), análises e estudos afirmam que um dos problemas que intervêm na confecção de painéis do tipo cimento-serragem é devido ao fato da sua composição química advinda da madeira, visto que esse material passa por diversas espécies, com alterações nas propriedades anatômicas do lenho e o açúcar presente na madeira, podendo ser capazes de inibir a solidificação do cimento ou até mesmo atrasar o tempo de cura do cimento, alterando possivelmente a sua composição ou resistência.

2.7 Resíduos Agrícolas

O Brasil é popularmente conhecido por seu grande potencial de recursos renováveis, a exemplo dos produtos florestais, agrícolas e resíduos orgânicos, tais como a casca do arroz, o sabugo de milho, casca de aveia, bagaço de cana-de-açúcar, a casca de café e aparas de

madeiras. As culturas agrícolas que se destacam são àquelas designadas à produção de grãos de milho, soja e arroz, responsáveis por cerca de 90% da produção física e em torno de 80% da área de campo utilizada, somando um total de 226.378.816 toneladas em 2019 (IBGE, 2020).

Todos os materiais que resultam das colheitas advindas das culturas agrícolas são considerados resíduos agrícolas, formados por caules, cascas, folhas e outras partes classificados como pouca ou nenhuma serventia para a alimentação humana. O descarte indevido desses resíduos pode trazer sérios problema para o meio ambiente. Segundo dados fornecidos pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), pressupõe-se que a produção de resíduos provenientes das agroindústrias correlacionadas à agricultura para o cultivo agrícola do arroz, do milho e da soja constituem um total de 74 milhões de toneladas de resíduos para o ano de 2009 (IPEA, 2012). Os resíduos oriundos da agroindústria têm levantado vários questionamentos e preocupações devido aos problemas causados na poluição do solo, dos leitos dos rios e até mesmo do ar. O setor da construção civil pode ser considerado um dos setores que mais pode aproveitar o uso desses materiais de descarte para a aplicação em concretos, argamassas, tijolos e placas, viabilizando uma destinação final propícia para esses resíduos.

Os resíduos agrícolas têm o potencial de reaproveitamento para adubo, alimentação animal e ainda servirem como matéria-prima para a elaboração de outros produtos. Para Ruiz et al. (2013), os resíduos agrícolas têm fomentado grande interesse devido ao seu grande potencial no que tange a geração de energia. Não obstante, diversas pesquisas apontam que esses resíduos têm denotado resultados interessantes na utilização como matéria-prima para a concepção de componentes de materiais alternativos e até mesmo substitutos aos materiais convencionais utilizados na construção civil, visto que os materiais oriundos dos resíduos agrícolas se comparados aos matérias tradicionais apresentaram características relevantes, tais como: baixo custo, resistência, leveza e baixa condutividade térmica (MADURWAR; RALEGAONKAR; MANDAVGANE, 2013). Logo, essas características levantam interesse tanto para a indústria agrícola quanto para a indústria da construção civil devido ao seu alto potencial de produção, diminuição de custos e de problemas ambientais.

Os materiais advindos de resíduos agrícolas para que seja possível a sua aplicação no setor da construção civil devem obedecer às exigências físicas e mecânicas, seguindo as normatizações específicas para que proporcionem durabilidade, resistentes e trabalhabilidade, buscando ainda a superioridade ou similaridade quando comparados à qualidade dos produtos já existentes no mercado (GHAVAMI; MARINHO, 2005; BARBOZA et al., 2008; LIMA; ROSSIGNOLO, 2010). Essas exigências são primordiais visto que o mercado da construção

civil precisa oferecer produtos que atestem qualidade e vida prolongada dos produtos comercializados.

Wei et al. (2015) apresentaram um estudo para a fabricação de materiais isolantes utilizando a palha do arroz juntamente com uma resina sintética definida como MDI (*methylene diphenyl diisocyanate*) diluída com acetona. Os autores utilizaram tamanhos diferentes de fragmentos da palha de arroz, prensaram o compósito à quente de maneira convencional e aplicaram alta frequência, encontrando diferentes densidades nos materiais das amostras. Como resultado, encontraram que as amostras que possuíam maior densidade exibiram melhores resultados quanto a resistência mecânica. Por fim, as conclusões apontaram para ótima eficiência do compósito alcançado como base para placas de isolamento térmico a serem utilizados em tetos e paredes.

Esses e outros estudos apontam o empenho de pesquisadores no que tange o tema de aproveitamento de resíduos agrícolas e a sua exequibilidade na confecção de compósitos, substituindo os materiais convencionais existentes no mercado, podendo ser utilizados em diversas finalidades, tais como: revestimentos internos de parede e teto, em forma de painéis ou ainda sendo possível na mistura do reboco, contribuindo diretamente na conservação do conforto térmico das edificações, amenizando a transmitância de calor entre o ambiente interno e externo. Não obstante, vale salientar que esses materiais oriundos dos resíduos agrícolas são completamente renováveis, regionais e de baixo impacto ambiental (ROSA et al., 2015).

2.8 Cultivo, produção e beneficiamento do café

A produção do café chegou ao Brasil a partir do século XVIII, abarcando no Pará através da Guiana Francesa e, no ano de 1774 chegou no estado do Rio de Janeiro, adentrando o Vale do Paraíba. De acordo com o Instituto Brasileiro do Café (IBC), foi no ano de 1825 que o café foi inserido em São Paulo e, em seguida, no estado de Minas Gerais. Segundo Venturim (2002), em 1840 o Brasil chegou a atingir a ascendência no mercado mundial cafeeiro, deslocando grande quantidade de escravos de outras culturas agrícolas, da agricultura da cana-de-açúcar para as localidades cafeeiras.

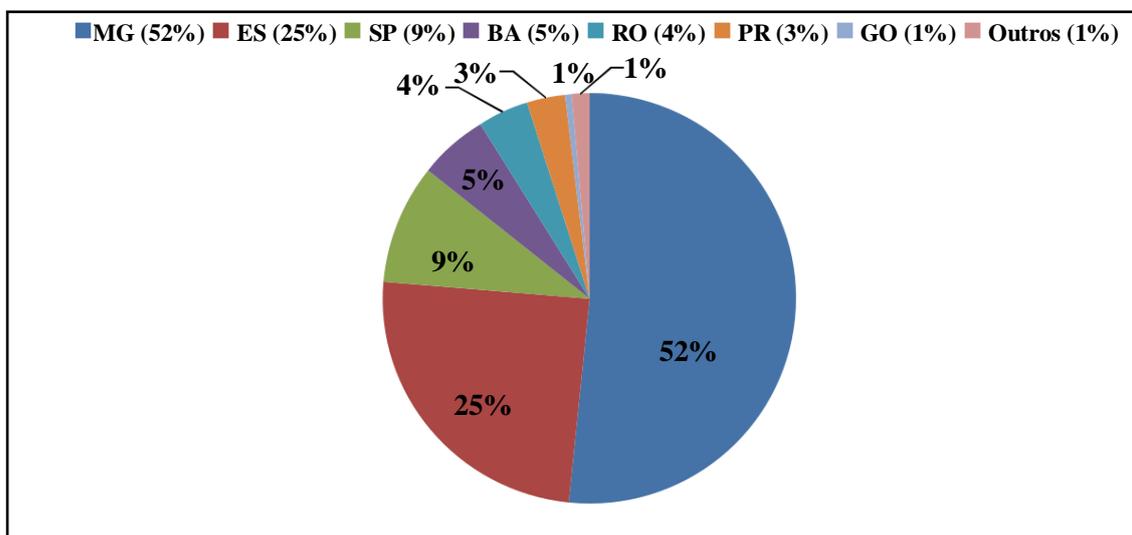
Atualmente, o Brasil é considerado o maior produtor mundial de café, exportando no período entre julho de 2019 a janeiro de 2020 uma produção de 23,5 milhões de sacas de café, levando em consideração o somatório do café verde, solúvel e torrado/moído (REVISTA CAFEICULTURA, 2020). Aos conhecimentos de Dultra (2013), a atividade cafeeira produz

enormes quantidades de resíduos, tendo como principal resíduo a casca do café, advindo na fase do beneficiamento e tratamento dos frutos.

Barcelos et al. (2013) descrevem como ocorre o processo do beneficiamento do café, onde o processamento de secagem comumente é feito ao sol ou em secadores mecânicos, tendo como descarte a palha ou casca do café. Porém, o beneficiamento feito através da via úmida tem sido bastante intensificado nos últimos anos, produzindo similarmente a polpa do café. Barcelos e Gonçalves (2011) retratam que existe uma diferença entre a polpa e a casca do café que é basicamente determinada pela presença ou ausência do endocarpo. De acordo com Teixeira (1999), a casca do café é formada por exocarpo (casca), mesocarpo (polpa) e endocarpo (pergaminho). Já a polpa do café tem em sua composição o epicarpo (casca) e mesocarpo (polpa).

Segundo o Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ), na safra de 2019, a exportação de sacas de café no Brasil atingiu recorde histórico, chegando a 40,6 milhões de sacas, tendo como principal importador os Estados Unidos, país que mais consome o café exportado do Brasil, totalizando 7,9 milhões de sacas (19,4% das exportações totais). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015), os principais produtores de café são os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná e Goiás, conforme apresentado na figura 3. A Bahia está na 4ª posição, com volume de produção estimado em 2,8 milhões de sacas de café, onde 1,6 milhões de sacas é do café da espécie *conilon*, cultivado no litoral baiano e 1,2 milhões de sacas beneficiadas são da espécie *arábica*, produzido nas regiões do cerrado e do planalto.

Figura 3 - Participação percentual na produção de café por UF.



Fonte: Adaptado CONAB (2015)

A atividade responsável pela despolpa do café auxilia na redução do custo da secagem e ainda para melhorias da qualidade do produto enquanto bebida, porém, existe uma grande quantidade de resíduos sólidos, ricos em material orgânico que são descartados. Estima-se que a associação entre café beneficiado e a casca produzida é de, aproximadamente, na proporção de 1:1 e esse resíduo gerado é retornado em parte às lavouras de café, sendo aplicado como adubo orgânico, detentor de fonte de potássio (K) e a outra parte é descartada por não ter nenhuma outra destinação (BARCELOS et al., 2013).

2.9 Normativas aplicadas

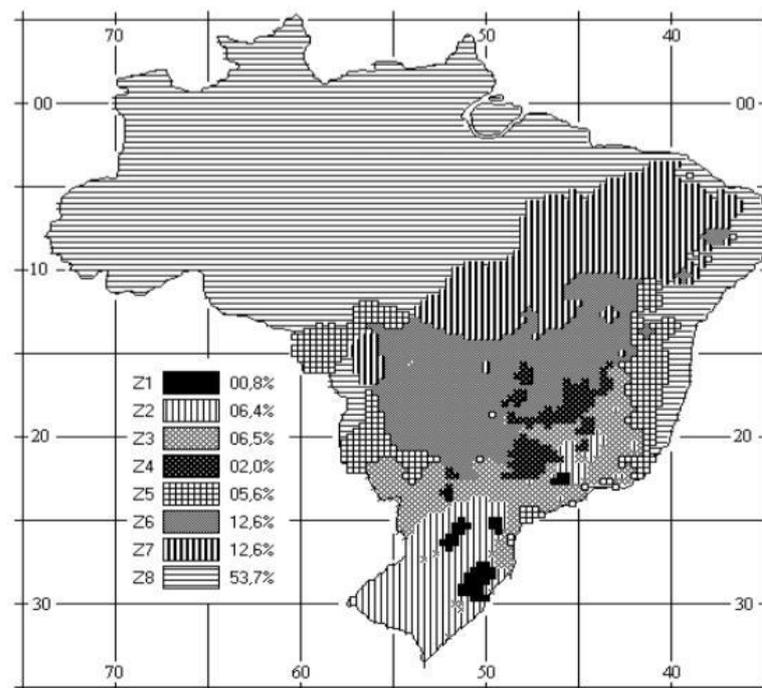
Para a avaliação do desempenho térmico das edificações, é de grande relevância o estudo e a compreensão da necessidade de adequar o projeto arquitetônico, juntamente com a disposição dos espaços projetados e as necessidades do conforto térmico proporcionado (FROTA e SCHIFFER, 2001). Para isto, o conhecimento do clima local, as estratégias mais adequadas e a aplicação de materiais corretos são algumas diretrizes capazes de proporcionar melhorias quanto ao conforto térmico do ambiente construído.

Atualmente, diversas normativas destinadas a promoção do conforto térmico existem no Brasil. Estas têm como finalidade a contribuição para a redução dos impactos ambientais ocasionados pelas edificações, a exemplo da NBR 15.220 (2005a), que discorre acerca do Desempenho Térmico das Edificações, desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, concedendo diretrizes para a elaboração de projetos arquitetônicos habitacionais sustentados nos princípios da bioclimatologia, sugerindo estratégias compatíveis com o clima de cada região a serem aplicadas nas edificações brasileiras. Essa normativa é dividida em cinco partes, sendo elas:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelos métodos fluxiométrico.

A terceira parte da NBR 15220 (2005b) discorre acerca do zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Os estudos desenvolvidos por Givoni (1994) serviram de subsídio para a elaboração desta normativas, que descreve as oitos zonas brasileiras, sendo classificadas de acordo com o grau de conformidade das características climáticas existentes em cada região analisada do Brasil (Figura 4). Ademais, retrata uma lista que contém as principais cidades brasileiras consideradas nas zonas bioclimáticas e, para cada zona apresentada, discorre acerca de estratégias construtivas a serem aplicadas a fim de garantir o conforto térmico no ambiente construído.

Figura 4 - Zoneamento bioclimático brasileiro segundo a NBR 15220.



Fonte: NBR 15220.

No estado da Bahia, a normativa contempla 32 municípios, localizados entre as zonas 5, 6, 7 e 8. Pela classificação da normativa, a cidade de Vitória da Conquista está inserida na Zona Bioclimática 5, indicando o uso de paredes internas pesadas, contribuindo para a manutenção do interior aquecido da edificação; melhora na sensação térmica através da desumidificação dos ambientes e; por fim o uso de paredes (internas e externas) e cobertura com maior massa térmica, armazenando o calor absorvido durante o dia, devolvendo ao exterior durante a noite quando as temperaturas externas diminuem.

Levando em consideração as diretrizes propostas para a Zona Bioclimática 5, as aberturas para ventilação devem ser médias e sombreadas, além de vedação externa ser do tipo leve, tanto para paredes quanto para a cobertura. Já para o condicionamento térmico passivo em ambientes sugere-se, para o verão, ventilação cruzada e, para o inverno, vedações internas pesadas, favorecendo a inércia térmica (ABNT, 2005b).

A normativa apresenta uma listagem de materiais de envoltória, descrevendo as propriedades físicas dos materiais utilizados nas paredes, a exemplo do concreto, argamassa, revestimentos cerâmicos, e nas coberturas o possível uso de materiais cerâmicos, fibrocimento, concreto, madeira, lã de vidro e lâmina de alumínio polido. Ademais, fornece também dados relacionados a transmitância térmica, definida como a capacidade térmica e atraso térmico que as coberturas e paredes possuem (ABNT, 2005b). Verbeke; Audenaert (2018) defendem que a inércia térmica é uma estratégia capaz de garantir o conforto térmico nas edificações, reduzindo ou até mesmo dispensando o uso de dispositivos para o condicionamento artificial do ar.

Logo, é de grande relevância a realização de estudos mais detalhados acerca dessas diretrizes, visto que a cidade em estudo não possui materiais aprofundados que dizem respeito ao uso de materiais aplicados na construção civil com o caráter de conforto térmico e sustentabilidade, muito menos apresenta uma carta bioclimática específica, dificultando a escolha das estratégias adequadas para a elaboração de medidas indicadas nos projetos das edificações, retratando, assim, a pertinência desta pesquisa.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho foi concebido sob uma perspectiva da pesquisa quali-quantitativa, caracterizando-se como exploratória pois tem como propósito desenvolver, elucidar e modificar conceitos e ideias e ainda explicativa pois, como explica Gil (2008), pesquisas explicativas possuem uma preocupação central com a identificação dos fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

3.1 Tipo de Pesquisa

Segundo Gil (2019), a pesquisa pode ser definida como um estudo descritivo que empregará como procedimento técnico o seguimento experimental. Quanto à natureza, refere-se a uma pesquisa aplicada, na qual possui o intuito de utilizar os conhecimentos obtidos em determinada situação específica, o desenvolvimento de um material natural com finalidade de isolante térmico.

A pesquisa seguiu etapas a fim de alcançar a resolução de seus objetivos, tendo como principais etapas o seu planejamento, a coleta de dados, a análise e interpretação dos dados e a redação do relatório final (GIL, 2019). Na primeira etapa, serão designados os resíduos agrícolas; na segunda, as placas para tratamento térmico de fachadas ventiladas serão confeccionadas e testadas; na terceira etapa, será feita a construção dos protótipos e a aplicação das placas nas fachadas ventiladas; e, por fim na quarta fase serão analisados os dados coletados através dos aparelhos *datalogger* que aferem temperatura e umidade dos espaços, comparando a eficiência térmica proporcionada pelo material desenvolvido.

3.2 Materiais e Métodos

Para que fosse possível o cumprimento do primeiro objetivo específico dessa pesquisa, a metodologia aplicada buscou respaldo em trabalho semelhante já desenvolvido em outra cidade (SPINELLI et al., 2017). Para a elaboração da carta bioclimática da cidade de Vitória da Conquista, bem como o seu estudo, foram aplicadas informações de dados fornecidos pela Estação Meteorológica (ESMET) de Vitória da Conquista, localizada na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). O espaço abriga estações convencionais e automatizadas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e outra estação automatizada cedida pelo Instituto

Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), apresentando a maioria dos equipamentos presentes numa estação convencional. Os dados fornecidos pelas estações automatizadas foram armazenados diariamente, de hora em hora e enviados via satélite para os dois institutos colaboradores, dispondo dessas informações em seus sites. Diferente da coleta feita pelas estações automatizadas, as coletas das estações convencionais foram realizadas em três horários específicos durante o dia, sendo eles: 9:00, 15:00 e 21:00 horas, atendendo a padrões internacionais (UESB, 2019).

As estações meteorológicas da UESB estão localizadas nas coordenadas geográficas $14^{\circ}53'12.30''S$ e $40^{\circ}48'4.41''O$, com altitude de 874,81 metros acima do nível do mar (Figura 5). Para verificar as temperaturas mínima, média e máxima, além da umidade relativa do ar, foi utilizado o sensor modelo CS215 e o barômetro CS106 feito para aferir a pressão atmosférica, ambos os aparelhos são produzidos pela empresa Campbell Scientific Ltd.

Após a coleta desses dados, foi realizado um tratamento nos valores para obter-se as médias para cada variável climática informadas, entre os anos de 2009 a 2019, com o desígnio de determinar as normais climatológicas provisionais. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as médias das variáveis climáticas devem ser medidas num período mínimo de 10 anos, quando não há registros totais por um período consecutivo de 30 anos.

Figura 5 - Estação meteorológica do Laboratório de Agrometeorologia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB.



Fonte: Autora da pesquisa.

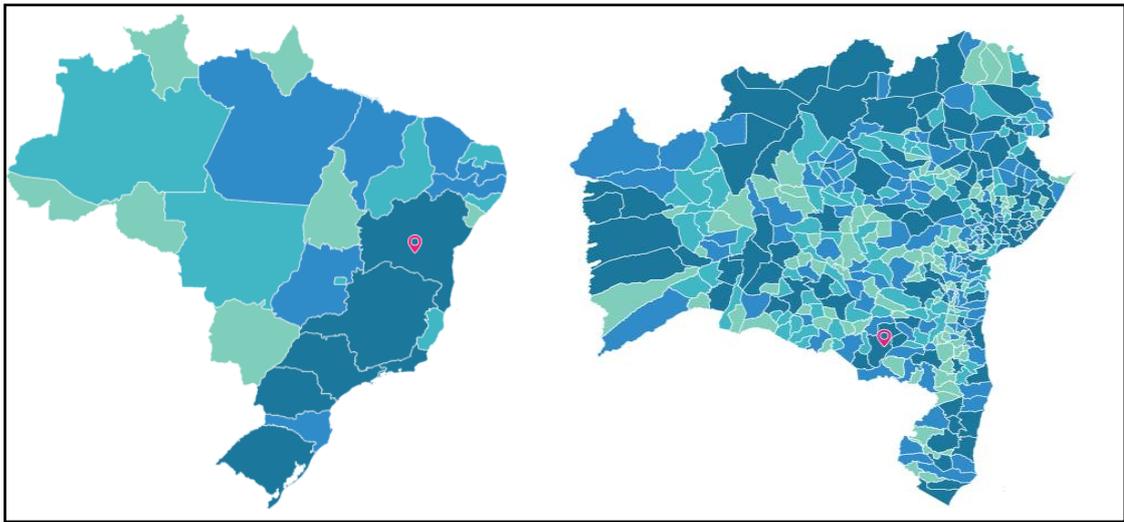
A coleta de dados dos últimos 10 anos foi de grande relevância para o desenvolvimento da carta bioclimática seguindo o modelo criado por Givoni, a qual leva em consideração a temperatura e a umidade do ambiente para objetivar a zona de conforto a qual a cidade de Vitória da Conquista está inserida e apresentar estratégias bioclimáticas adequadas, proporcionando maior conforto térmico nas edificações.

Para a obtenção das estratégias adequadas, os dados climáticos coletados foram lançados no *software* Analysis Bio, elaborado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), ligado ao Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. O *software* apresenta um diagrama psicrométrico através dos dados climáticos fornecidos, inserindo as normais climatológicas provisórias adquiridas através da estação meteorológica. O intuito desse diagrama é alcançar as estratégias bioclimáticas mais indicadas para o clima e para a promoção do conforto térmico nas edificações localizadas no município.

3.3 Caracterização do local de estudo

O espaço que compreende o local de estudo e desenvolvimento para este trabalho foi a cidade de Vitória da Conquista – Bahia (figura 6), localizada geograficamente no centro-sul baiano, distante 503 km da capital do estado, Salvador, contendo as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 14° 51' 53" Sul, Longitude: 40° 50' 13" Oeste, altitude aproximada de 923 metros acima do nível do mar, possuindo 3.405,6 km² de extensão territorial, apresentando-se em uma zona de transição entre a zona da mata, à leste, e o bioma caatinga em sua grande área central e setentrional (SILVA et al., 2013). O clima característico da região é o tropical, amenizado pela relativa altitude da região, que chega a aproximadamente mil metros acima do nível do mar em alguns pontos da cidade, possuindo temperaturas mais baixas do que regiões com clima tropical. As chuvas são habituais durante todos os meses do ano, concentrando-se principalmente no verão. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, (2018) Vitória da Conquista apresenta temperatura média anual de 21,26 °C, com máxima de 25 °C e mínima de 17,5 °C.

Figura 6 - Localização do estado da Bahia em relação ao Brasil e a localização de Vitória da Conquista em relação ao estado da Bahia, respectivamente.



Fonte: IBGE, 2019.

O município possui população estimada em 306.866 habitantes, de acordo o último censo, considerada, portanto, o terceiro município mais populoso do estado, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2010). No setor da construção civil, Vitória da Conquista apresenta um sinal bastante favorável, empregando em 2012 o total de 7.300 trabalhadores, sendo que em 2000 esta quantidade era de 1035 pessoas, ou seja, um aumento de 605,31 % (MTE, 2014).

A tipologia comumente utilizada nas obras de cunho residencial na cidade é a do tipo convencional em bloco cerâmico, em sua grande maioria revestidas por argamassa. Nesta conjuntura, é de grande relevância o estudo e a análise de estratégias favoráveis para a promoção do conforto térmico das edificações construídas, apontando a importância do conhecimento e aplicação correta das estratégias bioclimáticas que sejam correlacionadas ao clima local, otimizando os projetos arquitetônicos no que tange a orientação, a escolha do material e a implantação das edificações, capazes de contribuir para uma melhor eficiência energética e conforto térmico dos ambientes construídos.

3.3.1 Localização da instalação dos protótipos

A localização para a instalação dos protótipos foi na Rua A, quadra B, número 12, Loteamento Morumbi, Distrito Industrial dos Imborés, Vitória da Conquista – Bahia. As

coordenadas de localização são 14°48'55.8" sul 40°48'34.7" oeste, com altitude de 935 metros acima do nível do mar, como ilustra a Figura 7.

Figura 5 - Área destinada à implantação dos protótipos, localizada na Rua A, quadra B, número 12, Loteamento Morumbi, Distrito Industrial dos Imborés, Vitória da Conquista – Bahia.



Fonte: Autora da pesquisa.

A escolha desta localidade foi devido a sua topografia plana, com área ampla e livre de edificações com gabaritos de altura significativos, com o cuidado de não projetar sombra nos protótipos construídos. O terreno apresenta área permeável, formada por solo descoberto, topografia com desníveis razoáveis, viabilizando situações que não interfiram nos resultados alcançados. No entorno da área destinada a implantação dos protótipos, existe vegetação de médio e grande porte, exercendo função de barreiras para amenização da incidência de ventos diretos nas edificações executadas.

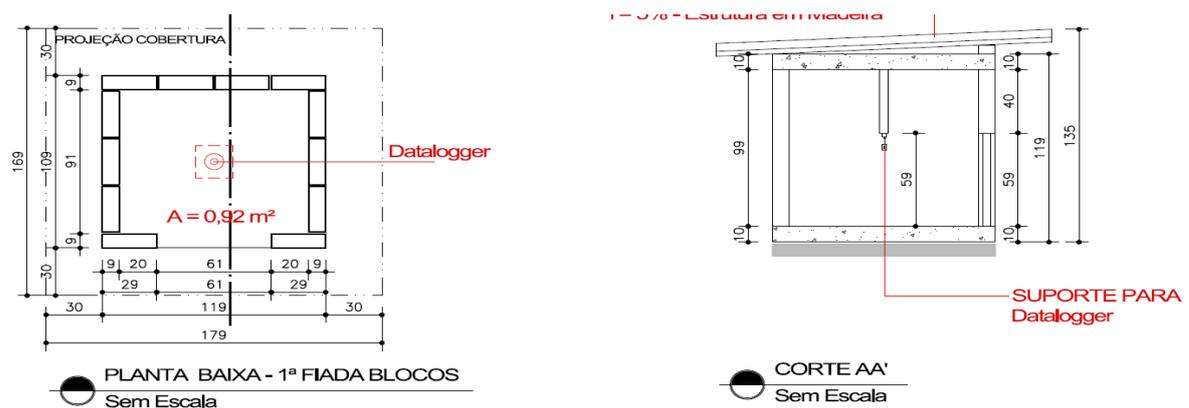
3.3.2 Execução dos protótipos

Para cumprir com o segundo objetivo desta pesquisa, foram construídos dois protótipos com dimensões iguais a 1,19 x 1,09 metros e altura de 1,35 metros implantados num terreno localizado na cidade de Vitória da Conquista, a fim de analisar o desempenho térmico dos materiais utilizados na envoltória.

O intuito da execução dos protótipos foi realizar a aferição das temperaturas internas, comparando o desempenho térmico apresentado em cada um destes, avaliando assim qual dos

modelos apresenta melhor resultado em se tratando do desempenho térmico. Foram construídos dois protótipos, denominados protótipo A e B (figura 9). Estes foram confeccionados sob fundação do tipo *radier*, em concreto, nivelados igualmente, posteriormente executadas as paredes de vedação. O fechamento de ambos os protótipos foi feito com bloco cerâmico de 6 furos, com dimensões de 9 x 19 x 29 cm, escolha realizada de acordo com os dados do IBGE, afirmando que esta é a tipologia comumente utilizada na construção civil do município de Vitória da Conquista. As paredes não receberam quaisquer tipos de argamassa ou revestimentos, uma vez que o pretendido é avaliar o comportamento térmico da estrutura em seu estado original. O protótipo A foi confeccionado apenas com os blocos cerâmicos e o protótipo B, além dos blocos cerâmicos, receberá as placas para tratamento térmico da edificação.

Figura 6 - Planta baixa para a execução dos protótipos em alvenaria convencional, bloco cerâmico de 6 furos.



Fonte: Autora da pesquisa.

Para o fechamento frontal da abertura existente dos protótipos, utilizou-se uma placa de compensado de madeira, evitando assim qualquer tipo entrada de vento ou umidade que pudesse alterar o resultado da temperatura aferida. Como cobertura, utilizou-se de telhas termoacústicas para ambos os modelos. A escolha dessa telha deu-se por conta da ampla utilização nas obras da região. É importante salientar que as coberturas aplicadas nos protótipos apresentam vedação com laje, ademais, devido a inclinação da telha, os espaços existentes foram fechados com bloco cerâmico, garantindo que a ventilação não fosse capaz de influenciar os resultados dos experimentos.

Figura 7 - Planta de cobertura – Telha termoacústica, com inclinação de 5%.



Fonte: Autora da pesquisa.

Por fim, os protótipos foram posicionados igualmente com o auxílio de uma bússola, orientados de acordo com as suas fachadas e então implantados. Deste modo, foi possível produzir o diagrama solar, disponibilizado pelo software Sol-ar, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE, determinando assim a trajetória que o sol realiza durante o período de análise dos protótipos, tornando possível a previsão de projeção das sombras dos protótipos um ao outro ou quaisquer elementos existentes no entorno, garantindo que o sombreamento não terá interferência direta durante a coleta dos dados (figura 10).

Figura 10 - Protótipos finalizados – Sem revestimento (A) e com revestimento em placa de casca de café (B).

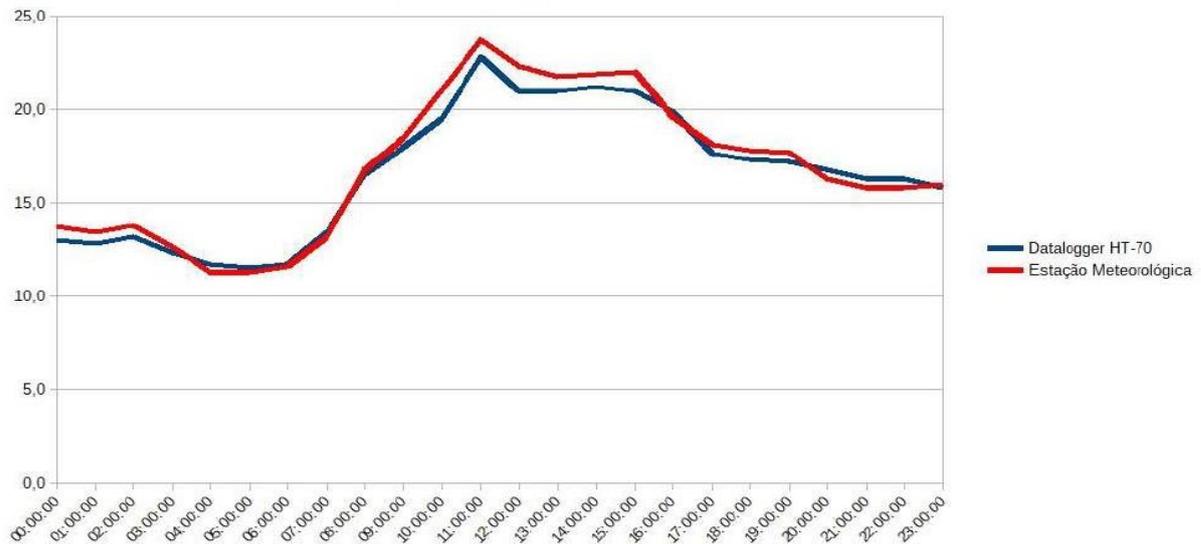


Fonte: Autora da pesquisa.

Para que os dados coletados pelo *datalogger* posicionado externamente no local de estudo, buscou-se por meio dos dados disponibilizados pela estação meteorológica citada anteriormente, analisar através de comparativo das temperaturas apresentadas por ambos os aparelhos, através do método matemático de correlação. O aparelho *datalogger* modelo HT-70 foi instalado nas proximidades da estação meteorológica e coletados os dados num período de 24 horas, verificando os mesmos horários para as temperaturas coletadas.

Após a finalização dessa análise, os dados coletados tanto da estação meteorológica quanto do aparelho *datalogger* (figura 11) foram comparados e verificados que ambos são compatíveis, visto que essa correlação foi de 0,99.

Figura 11 – Aferição e comparação de temperatura entre a estação meteorológica e o datalogger HT-70.



Fonte: Autora da pesquisa.

Com o intuito de analisar as situações mais extremas de temperaturas tanto de frio quanto de calor, realizou-se uma verificação geral nos registros coletados nos *dataloggers* instalados no interior dos protótipos executados, a fim de discernir os valores mínimos e máximos de temperaturas coletadas. Ademais, para uma análise real de como os materiais se comportam conforme a temperatura externa, verificou-se qual a semana mais quente e a mais fria, totalizando oito análises de comportamento térmico dos protótipos diante da temperatura externa. Assim sendo, após a análise da semana mais quente e mais fria, observou-se ainda como se comportavam os protótipos no dia mais quente e no dia mais frio de cada mês, a fim de analisar e comparar o comportamento térmico no interior de cada um dos protótipos em estudo.

Para as análises coletadas, programou-se o registro de temperatura dos aparelhos de hora em hora, durante os meses de maio a agosto, totalizando quatro meses.

3.3.3 Casca de Café

O resíduo orgânico escolhido como objeto de estudo para essa pesquisa foi a casca de café, denominada cientificamente de pergaminho. O material foi doado por uma propriedade rural, localizada na cidade de Barra do Choça-BA, possuindo como coordenadas geográficas 14°55'27.19S e 40°36'43,86°O e altitude de 903 metros acima do nível do mar, com um clima tropical de altitude, situada numa região denominada de Planalto da Conquista. O café cultivado nessa propriedade pertence à espécie *Coffea arábica* L., e tem como cultivo principal o café do tipo Catuaí vermelho, amarelo e o arábica, como demonstrado na figura 12.

Figura 12 - Cafeeiro (A) e frutos do cafeeiro da espécie conhecida como Catuaí vermelho (B) e amarelo (C).



Fonte: Autora da pesquisa.

A Fazenda Vidigal está localizada a uma distância de 30,3 quilômetros da cidade de Vitória da Conquista, possuindo uma área de 146 hectares, dos quais 105 são destinados exclusivamente a plantação de café. Além do cafezal, a propriedade possui áreas de lazer, espaço gourmet, auditórios, galerias de artes e outros atrativos para o lazer. Ademais, a fazenda abriga anualmente o evento conhecido como Encontro Nacional do Café, que reúne um público amplo de cultivadores, estudantes, pesquisadores, autoridades e empresários de todo o país a fim de discutir a realidade da produção cafeeira e contribuições para a produção.

Para o processo de beneficiamento do café, o produto passa pela colheita mecânica, realizada através de máquinas que adentram o cafezal. Posteriormente, os grãos são lavados em

tanques e a toda a água utilizada no processo de lavagem é 100% reaproveitada na irrigação da lavoura. Após lavados, os frutos seguem para uma esteira de seleção, onde perdem a sua primeira casca. Nesse momento, a máquina é responsável também pela seleção dos melhores grãos e àqueles que são descartados, seguem para um processo artesanal de produção, denominado de café de varrição (figura 13).

Figura 13 - Processo de colheita e beneficiamento do café na Fazenda Vidigal – (A) colheitadeira responsável pela colheita do fruto no cafezal; (B) detalhe da estrutura do maquinário; (C) cascas de café descartadas após o processo de secagem dos grãos.



Fonte: Autora da pesquisa.

Após todo esse processo de limpeza, seleção e separação, os grãos classificados como adequados, seguem para o processo de secagem em grandes estufas mecânicas, conforme demonstrado na figura 14. Nesse momento, após a secagem do café, o fruto perde o seu pergaminho, ou segunda casca e esse material foi o escolhido para elaboração do material em estudo. O motivo pelo qual escolheu-se essa segunda casca foi justamente pelo processo de descarte desse resíduo, visto que parte dele não é aproveitada e não deve permanecer por muito tempo exposto ao sol, pois é um material orgânico altamente inflamável quando exposto a altas temperaturas.

Figura 14 - (A) Galpão onde acontece todo o processo de beneficiamento do café; (B) secadora mecânica dos grãos; (C) separação mecânica dos grãos; (D) café ensacado para exportação.



Fonte: Autora da pesquisa.

O processo de colheita do fruto acontece durante um período de quatro meses, que se estendem entre os meses de junho a setembro (figura 15). Porém, com o processo de escassez de chuva, o período de colheita tem se iniciado em agosto e finalizando em outubro. O processo que compreende desde a colheita até o processo final para exportação acontece durante todo o ano, mas preferencialmente nos meses de fevereiro e março, meses onde o valor do café é mais interessante no mercado. Foi após o processo de secagem e beneficiamento no mês de novembro de 2019 que houve a doação das cascas, totalizando três sacas, com peso de 12 quilos cada uma por parte da Fazenda Vidigal

Figura 15 - Diferentes etapas do café, desde o processo da colheita (A), perda da primeira casca (B), após a secagem há a soltura do pergaminho (C) e o fruto já lavado, pronto para a secagem (D).



Fonte: Autora da pesquisa.

3.3.4 Resina

A resina utilizada como aglutinante para a elaboração das placas foi a resina acrílica impermeabilizante a base de dispersão aquosa de copolímero estireno acrílico, pigmentos isentos de metais pesados, glicóis e tensoativos. É um material que proporciona alta resistência, durabilidade e hidrorrepelência e, segundo o fabricante, quando aplicada em em superfícies, o produto é capaz de colorir e proteger, oferecendo conforto térmico ao ambiente (figura 16).

Figura 16 - Resina utilizada como aglutinante, misturada com a casca de café triturada.



Fonte: Autora da pesquisa.

3.3.5 Ensaio da Densidade

Para compreender as questões que envolvem a condutividade térmica dos materiais utilizados como isolantes térmicos, é de relevância analisar os índices de densidade desse material que se pretende utilizar. Conforme Lamberts et al. (1997), a condutividade térmica de um material decorre da densidade do material analisado, onde ocorre que quanto menor a densidade deste material, menor será a condutividade térmica.

A metodologia para determinar a densidade aparente da casca do café resume-se em compactar o material numa proveta de massa total de 25 ml. O material foi triturado durante 2 minutos em liquidificador industrial e, posteriormente, compactados dentro da proveta até o seu limite de 25 ml, determinando assim a massa do conjunto composto por amostra e proveta (figura 17).

Figura 17 - Ensaio de Densidade da casca de café triturada.



Fonte: Autora da pesquisa.

Por fim, para o cálculo da densidade da amostra, calculou-se o somatório da amostra com a proveta menos a tara da proveta, dividindo esse resultado pelo volume da mesma. O ensaio da densidade aparente do material foi realizado no Laboratório de Biorreatores, localizado no Prédio 11 da UNIVATES.

3.3.6 Ensaio da Umidade

O ensaio da umidade consiste em verificar a presença de água no material analisado e a interferência que ele pode apresentar conforme o seu peso específico. A amostra foi primeiramente pesada e então colocada no analisador de umidade modelo MB23 da marca Ohaus, a uma temperatura de 150 °C. Ao final do processo, o aparelho determina o percentual de umidade presente na amostra, a quantidade de massa que restou após o processo de secagem (figura 18).

Figura 18 - Ensaio de Umidade no MB23.



Fonte: Autora da pesquisa.

O ensaio da umidade do material foi realizado no Laboratório de Biorreatores, localizado no Prédio 11 da UNIVATES.

3.3.7 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens de amostras produzidas com o auxílio do aparelho de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a casca de café foram realizadas no laboratório 102 da Tecnovates, na UNIVATES (figura 19). O material utilizado para a análise trata-se do pergaminho, popularmente conhecido como casca do café, coletado após o processo de secagem mecânica através das secadoras, onde utiliza-se uma temperatura de 40°C para que o café atenda às exigências de mercado para ser uma bebida de alta qualidade e suave (SFREDO et al., 2005; BORÉM et al., 2008). Após esse processo de secagem, o material apresentou vazios que anteriormente eram preenchidos por água, formando pequenos bolsões de ar, onde Pinto et al. (2011) corrobora para que esses vazios existentes nas camadas mais internas do material se assemelham a do poliestireno expandido (EPS), material sintético utilizado em larga escala na construção civil.

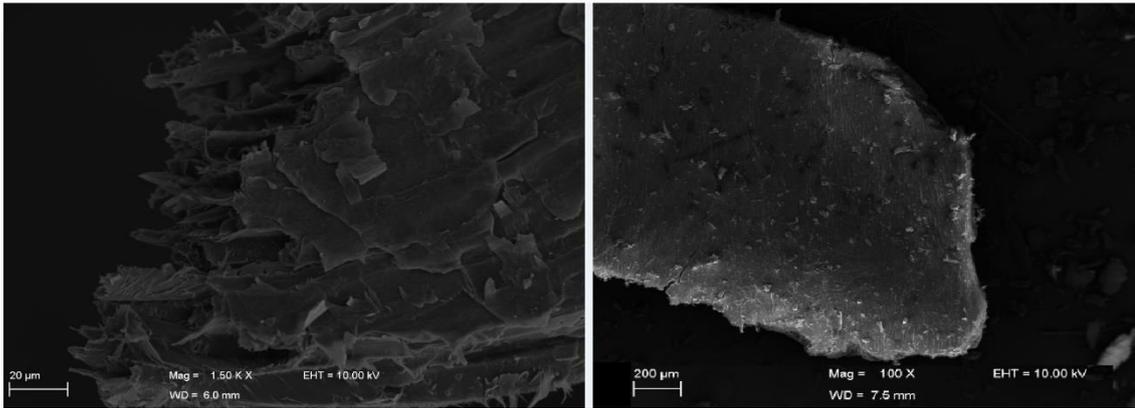
Figura 19 - Processo de captação das imagens MEV para a casca de café.



Fonte: Autora da pesquisa.

O processo ocorre conforme registrado na figura 20, onde primeiramente é feito um banho de ouro nas amostras a serem analisadas (A) através do vácuo e então é aplicada uma película bem fina (B) para que as amostras tenham condutividade e proporcionar um salto nos elétrons e então gerar a imagem. Após esse processo, as amostras então são colocadas nos stubs localizados no interior do aparelho MEV (C), aplica-se o vácuo e ativa o filamento para leitura e formação das imagens (D).

Figura 20 - Imagens produzidas pelo MEV da Casca de café (Escala: 20µm e 200µm).



Fonte: Autora da pesquisa.

3.3.8 Camada para Isolamento Térmico da Placa

Para atender ao terceiro objetivo desta pesquisa, buscou-se um material natural, caracterizado como resíduo orgânico agrícola para ser utilizado com a finalidade de proporcionar possível isolamento térmico ao material desenvolvido: a casca do café.

O processo de trituração das cascas de café foi feito em liquidificador do tipo profissional, do fabricante Vithory, com potência de 600w, com capacidade para 4 litros, triturando o material natural por 2 minutos para atingir o tamanho desejado (Figura 21) e, posteriormente, peneirados.

Figura 21 - Liquidificador profissional e cascas de café in natura e trituradas.



Fonte: Autora da pesquisa.

3.3.9 Separação Granulométrica da Casca de Café

Após passarem pelo processo de trituração, o material orgânico passou por seleção através de peneiras a fim de promover a separação do material, sendo utilizadas peneiras do tipo 40 mesh (abertura da malha 0,420 milímetros) e os que ficaram retidos na peneira 60 mesh (abertura da malha 0,250 milímetros), pretendendo obter uma maior homogeneização entre o material natural e a resina a base de água (figura 22). Após a separação desse material, adiciona-se a resina acrílica do tipo *Premium Plus*, marca Eucatex. A escolha dessa resina foi feita devido ao seu composto ser formado a base de água, sendo capaz de unir as cascas de café trituradas em um conglomerado, obtendo-se como produto a placa.

Figura 22 - Material natural (A); separação do material em peneira 60mesh (B); material após processo de trituração preparado para uso (C).



Fonte: Autora da pesquisa.

Foram feitos quatro testes com quantidades de resina diferentes, a fim de encontrar a melhor mistura, que proporcionasse um material homogêneo e resistente. Após realizada a trituração de todo o material natural em estudo, foram separadas quatro porções contendo 120 gramas de casca de café e misturadas a resina a base de água, respectivamente na proporção 1:0,25; 1: 0,50; 1:0,75 e 1:1.

Esse material foi disposto em forma de MDF, dividida em 4 partes iguais, com profundidade de 2 centímetros, forrada com papel manteiga, evitando que a mistura grudasse na forma, conforme exposto na Figura 23. O material foi compactado de forma que ainda houvessem vazios de ar na placa, visto que são esses vazios que auxiliam no desempenho térmico do produto.

Figura 23 - Processo de produção e traço da placa de casca de café.



Fonte: Autora da pesquisa.

Em seguida, realizou-se o processo de compactação do material com o auxílio de uma tampa confeccionada também em MDF. As quatro amostras foram devidamente compactadas e então colocadas em estufa do fabricante Línea, localizada no laboratório LATEC da Universidade do Vale do Taquari (Figura 24). As amostras foram expostas por 10 horas nessa estufa, a uma temperatura de 105 °C. A placa que alcançou melhor resultado em relação quantidade de matéria natural e quantidade de resina foi a que utilizou o traço 1:0,75 ou seja 120gramas de casca de café para 75ml de resina

Figura 24 - Estufa utilizada no processo de secagem.



Fonte: Autora da pesquisa.

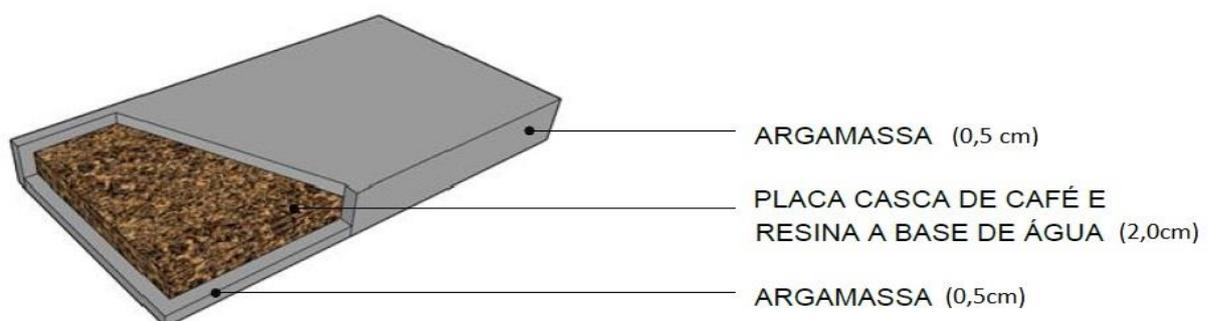
O resultado obtido após o processo de secagem foi uma placa homogênea, pouco maleável e frágil. Posteriormente ao processo de secagem, a camada composta por casca de café triturada e resina a base de água, obtém-se o produto final da placa de café, que será utilizada como camada de isolamento térmico, envolvida a posteriori por duas camadas de argamassa de concreto, tornando o material resistente às intempéries e adequado para ser aplicado como revestimento das fachadas do protótipo B.

3.3.10 Confeccção das Placas em Concreto

As placas que foram aplicadas nas quatro fachadas do protótipo são compostas por três camadas de materiais. A primeira camada é feita com argamassa de cimento, a segunda formada pela placa de café, composta por casca de café e resina a base de água, atuando como isolante térmico da placa e por fim, a terceira camada feita igualmente a primeira, com argamassa de cimento. As camadas de argamassa têm o intuito de trabalhar como proteção do compósito natural, visto que esse material apresenta fragilidade quanto a sua trabalhabilidade e baixa resistência a intempéries. Segundo Spezia (2017), após a análise de quatro traços diferentes de argamassa cimentícia, a quem melhor se comportou para a aplicação na face externa da placa foi a de traço que continha a proporção de 2 kg de areia, para 1 kg de cimento CP V e 500 ml de água.

Para ser possível o revestimento completo do protótipo B, foram confeccionadas 20 placas com dimensão de 29,75 x 33,0 centímetros e 24 placas com dimensão de 24,5 x 33,0 centímetros, envolvendo a fachada frontal, posterior e as fachadas laterais, respectivamente.

Figura 25 - Projeto 3D da placa composta de argamassa e casca de café.



A placa ilustrada acima na Figura 25 foi executada em forma confeccionada em *Medium-Density Fiberboard* - MDF, popularmente conhecida como placa de madeira de média densidade, com profundidade de três centímetros. Para facilitar o processo de desforma, foi aplicado um desmoldante em toda a forma, permitindo que as placas se desprendam do material de maneira mais fácil.

Para o processo de confecção das placas finais, primeiramente foi colocado a argamassa, atingindo 0,5 centímetros de espessura, garantindo essa dimensão através de uma régua incolor. Posteriormente, coloca-se a placa produzida com a casca de café, material que trabalha como isolante térmico neste produto, de modo que esta placa seja posicionada exatamente ao centro da dimensão da forma e, por fim, aplica-se a última camada de argamassa, recobrendo toda a placa formada pelo compósito orgânico, com espessura final de 0,5 centímetros, conforme ilustra a figura 26. A finalização da placa ocorreu de modo que o conteúdo final ocupou todos os espaços existentes em toda a forma até a sua borda superior, preenchendo também as 4 laterais da placa, envolvendo assim, completamente todo o material orgânico.

Figura 26 - Montagem das placas em formas.



Fonte: Autora da pesquisa.

O processo de cura do concreto utilizado para a confecção das placas foi de três dias até o momento da desforma, não apresentando quaisquer sinais de trincas ou fissuras do material, sendo mantida a sua integridade física e acabamento uniforme. A espessura final obtida das placas foi de três centímetros, gerando como resultado um envolvimento total do compósito orgânico (figura 27).

Figura 27 - Secção da placa composta por casca de café, resina e envolta por argamassa de concreto.



Fonte: Autora da pesquisa.

3.3.11 Fixação das placas nos protótipos

A fixação das placas será realizada apenas no protótipo B, com a finalidade de proporcionar o sistema de fachada ventilada no mesmo. Siqueira Junior (2003) define fachadas ventiladas como um sistema composto por placas ou painéis fixados na face externa da edificação através de fixadores metálicos ou por uma subestrutura metálica auxiliar, compondo a vedação vertical exterior de uma edificação. Esse sistema permite que haja a remoção do ar aquecido através do efeito chaminé no interior do bolsão existente entre a edificação e o material fixado.

As placas foram fixadas em quatro pontos no bloco cerâmico por meio de pinos, através de *inserts* metálicos, confeccionados em aço inox devido a sua resistência à corrosão e ao calor (Figura 28). Graças a esses *inserts*, as placas ficam instaladas de forma afastada das paredes do protótipo, formando um bolsão de ar entre as paredes e placas, criando assim a fachada ventilada.

Figura 28 - Fixação das placas nos protótipos com *inserts* metálicos.



Fonte: Autora da pesquisa.

De acordo com a NBR 13707 (2004), os *inserts* são componentes metálicos com diversos formatos e que tem por função:

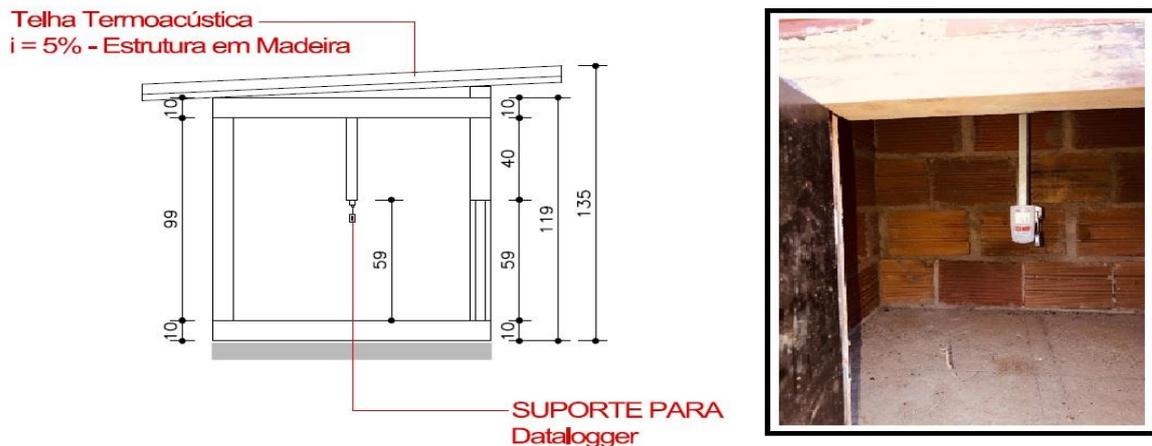
- Fixar as placas no suporte e conectar umas às outras;
- Impedir o tombamento das placas;
- Sustentar o peso do revestimento à ação dos ventos, pressões internas e outras cargas passíveis de atuação;
- Absorver as deformações diferenciais existentes entre o suporte e o revestimento, permitindo a dissipação de tensões introduzidas no revestimento;
- Permitir que o revestimento fique afastado do suporte, proporcionando livre circulação do ar e eliminando a umidade no sistema revestimento/suporte.

3.3.12 Avaliação do Desempenho Térmico nos Protótipos

Após a fixação do material produzido e para atender ao último objetivo específico, serão instalados equipamentos responsáveis pelo registro das informações acerca da temperatura do ar, temperatura interna dos protótipos e ainda a umidade relativa do ar através de *dataloggers*, modelo HT-70, da marca Instrutherm, instalados internamente nos dois protótipos e o outro instalado ao ar livre, apenas com uma cobertura para proteção contra intempéries.

Os aparelhos localizados no interior dos protótipos serão fixados conforme demonstrado abaixo na Figura 29. O período reservado para a coleta de dados será de maio a novembro do ano de 2020. Após realizada a coleta, os dados armazenados nos *dataloggers* serão tratados com o auxílio de um *software* e, posteriormente, transferidos para planilha no *software Microsoft Excel*, analisando por fim as informações pertinentes a este trabalho, conforme ABNT (2005).

Figura 29 - Instalação dos aparelhos Dataloggers nos protótipos A e B.



Fonte: Autora da pesquisa.

O cálculo para a avaliação do desempenho térmico do sistema será feito no protótipo A (sem revestimento) e no protótipo B (com fachada ventilada) de acordo a NBR 15220 – Desempenho Térmico de Edificações. Após a obtenção das características térmicas dos materiais e dos dados coletados com o auxílio dos *dataloggers* instalados no interior dos protótipos a ao ar livre, é possível analisar a transmitância térmica existente da placa instalada na fachada e a capacidade térmica total do sistema B, comparando com o sistema A, livre de qualquer revestimento com tratamento térmico, encontrando assim o desempenho térmico final das placas produzidas com o material natural da casca do café.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões que foram obtidos em resposta ao estudo desta pesquisa, com o intuito de apresentar os seguimentos alcançados após todas as análises coletadas necessárias.

4.1 Desenvolvimento da Carta Bioclimática

O estudo ou desenvolvimento de uma carta bioclimática proporciona uma análise do clima de determinada cidade ou região de acordo com as coletas de temperatura ocorridas em determinado período e sugere condições para obtenção de conforto em um ambiente construído. Para o setor da construção civil, esse instrumento norteia de maneira mais direta quais as estratégias e soluções a serem pensadas e desenvolvidas ainda em fase de projeto, tomando como partido situações naturais de incidência solar e ventilação predominante natural que ocorrem na edificação.

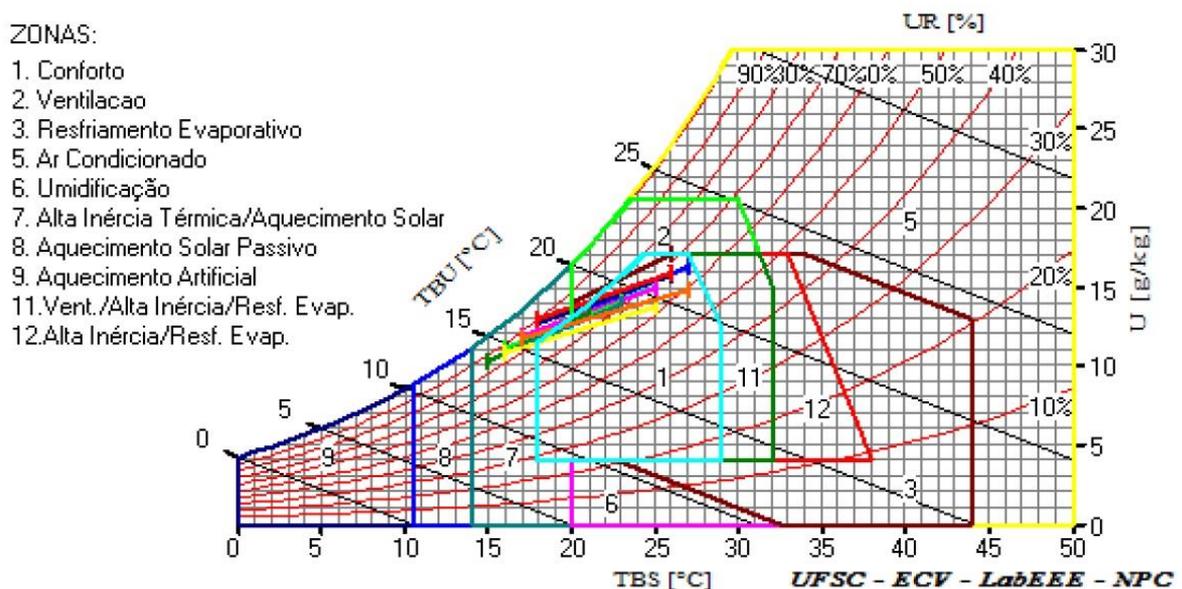
Conforme Lamberts et al. (1997), a alta inércia térmica de um material é a capacidade que o mesmo possui em diminuir a amplitude térmica que ocorre internamente no ambiente construído, auxiliando no resultado do atraso térmico do fluxo de calor visto que cada material aplicado na envoltória de um edifício possui a sua capacidade específica de absorver e reter calor. Essa inércia térmica analisada e aplicada como estratégia para o isolamento térmico amplia o leque para o desenvolvimento de estudos acerca de materiais naturais a partir do processo de reaproveitamento de resíduo orgânico na confecção de novas soluções para aplicação na construção civil. Esse desenvolvimento permite uma possível análise no que tange o quesito da arquitetura vernacular, que preza pela utilização e valorização dos materiais naturais encontrados na região a fim de auxiliar no reaproveitamento da matéria prima local para a confecção de novos materiais.

Quanto as estratégias bioclimáticas sugeridas através do software Analysis Bio, para o clima de Vitória da Conquista sugeriu-se aquecimento solar passivo e o uso de materiais com alta inércia térmica. Logo, com esse resultado, juntamente com os princípios que permeiam a arquitetura vernacular, iniciou-se o estudo para o desenvolvimento de um material compósito orgânico natural advindo da casca do café, resíduo orgânico produzido em grande quantidade

na região conhecida como Planalto da Conquista, região cafeeira do município a fim de proporcionar a reutilização consciente desse material de forma sustentável.

A figura 18 apresenta a carta bioclimática de Vitória da Conquista - BA, gerada pelo software *Analysis Bio* a partir dos dados inseridos referentes aos últimos 10 anos. Plotados sobre um diagrama psicrométrico, os meses (representados pelas linhas coloridas) sugerem as estratégias bioclimáticas necessárias para a promoção de conforto térmico. Nota-se que as linhas referentes aos meses concentram-se, na sua maioria, no quadrante central, o qual corresponde à condição de conforto ambiental, além de estarem localizadas nos quadrantes 7 e 2, os quais correspondem, respectivamente, à alta inércia térmica associada ao aquecimento solar e a ventilação natural.

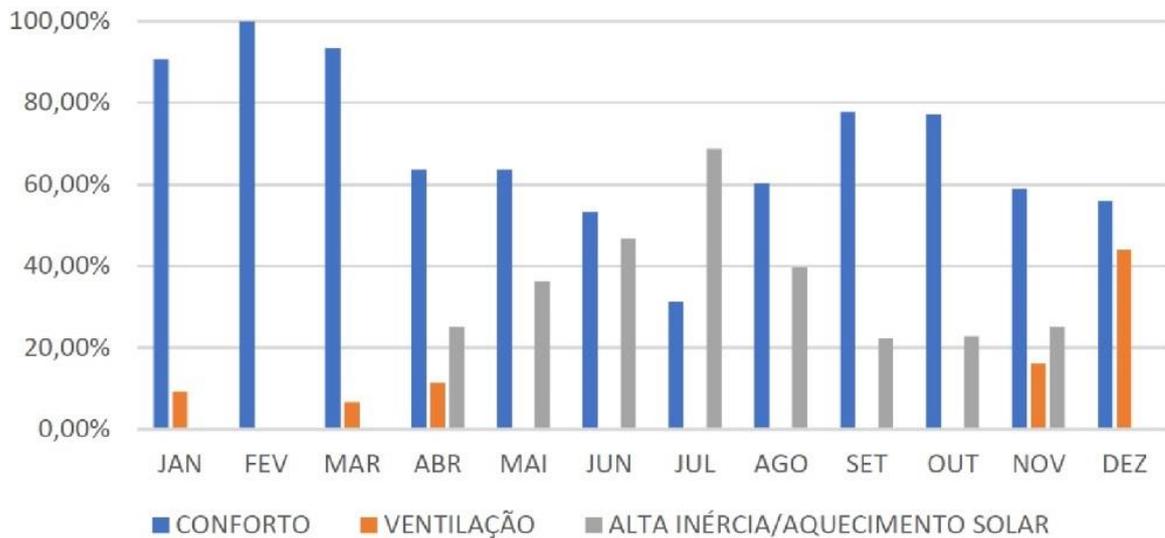
Figura 30 - Carta bioclimática desenvolvida por meio do software *Analysis Bio* para Vitória da Conquista – BA.



Fonte: Autora da pesquisa.

A estratégia para o desenvolvimento desse material teve o intuito de proporcionar um elemento capaz de responder através da inércia térmica um considerável atraso térmico conforme sugeriu o estudo da carta bioclimática desenvolvida, proporcionando assim um melhor desempenho térmico da edificação construída, conforme aponta o gráfico analisado a partir da carta bioclimática da cidade de Vitória da Conquista – BA, ilustrado na figura 31.

Figura 31 - Estratégias bioclimáticas ao longo do ano.



Fonte: Autora da pesquisa.

Conforme a análise feita para o gráfico (Figura 31), os resultados apresentam as estratégias bioclimáticas ao longo do ano, demonstrando que o conforto térmico predomina, dentre o período analisado, em todos os meses (68,84% do ano), seguido da alta inércia térmica associada ao aquecimento solar passivo (23,89%) e ventilação natural (7,28%).

O período que apresentou a menor porcentagem de conforto térmico compreende o mês de julho, o qual compreende a estação de inverno no hemisfério sul, tendo apenas 31,25% dos dias nesta condição. A carta sugere, para este mês o emprego de alta inércia térmica associada ao aquecimento solar passivo como forma de promover conforto no ambiente edificado. A mesma estratégia também é recomendada para os meses de junho (46,79%) e agosto (39,65%), demonstrando haver a necessidade de manter aquecido os ambientes na estação.

Para tanto, faz-se necessário considerar o uso de sistemas construtivos e envoltórias que apresentem características termofísicas adequadas para o condicionamento passivo do ambiente. Para tanto, a NBR 15575 – Norma de Desempenho (2013) apresenta uma lista de materiais, bem como as características térmicas, para que sejam empregados, tanto na construção de paredes quanto para os sistemas de cobertura.

Além disto, a Zona Bioclimática 5 a qual a cidade de Vitória da Conquista está inserida de acordo com a normativa, é proposto que seja associado à alta inércia térmica dos materiais, o aquecimento solar passivo, de modo que faz-se necessário permitir que a radiação solar contribua para elevar a temperatura interna do ambiente. Assim, faz-se necessário considerar

fatores como atraso térmico e transmitância térmica do material escolhido, relacionando-os ao período com que as fachadas e coberturas serão expostas a radiação solar direta (GIVONI, 1994).

4.2 Avaliação do Desempenho Térmico dos Protótipos

Os resultados obtidos para a análise dos valores atingidos foram comparados conforme os dados contidos na ABNT NBR 15.220, parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (2005b), mais especificamente no Anexo D o qual apresenta relação das propriedades térmicas de diferentes tipologias de paredes e coberturas. Nessa normativa, considerando tijolos quadrados de seis furos circulares, foram considerados apenas a espessura de um centímetro para a argamassa de assentamento, não sendo revestida a parede com argamassa ou qualquer tipo de tratamento (tabela 01).

Figura 32 - Comparação calculada entre bloco cerâmico de 06 furos com argamassa e sem argamassa aplicada.

Tabela D.3 - Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas paredes

Parede	Descrição	U [W/(m ² .K)]	C _T [kJ/(m ² .K)]	φ [horas]
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 0,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 9,0 cm	2,86	40,12	1,76

Fonte: ABNT 15.220, adaptado pela autora da pesquisa.

Nessa tabela, calculou-se a diferença existente ao comparar a transmitância térmica, a capacidade térmica e o atraso térmico, onde foi possível verificar os valores diferentes quanto ao uso da camada de argamassa aplicada interna e externamente nas paredes de vedação com o bloco de seis furos. Logo, percebeu-se que sem o uso da argamassa na envoltória como foi utilizado nos protótipos desta pesquisa, existe um aumento de 0,38 U[W/(m².K)] em relação a

transmitância térmica do material. Entretanto, para o cálculo da capacidade térmica, obteve-se um resultado que diferiu em 118,88 C_T [KJ/(m².K)], diminuindo a capacidade térmica final para as paredes. Por fim, analisando o atraso térmico das paredes compostas por blocos de seis furos, observou-se que o comportamento térmico foi diminuído em 1,54 horas quando retirado o reboco argamassado. Através dessa análise, é possível perceber que o comportamento térmico dos protótipos construídos diverge de uma alvenaria convencional argamassada, apresentando essas diferenças graças a aplicação do reboco numa espessura de 2,5 centímetros na face interna e externa das paredes construídas.

Analisando os dados coletados dos protótipos, a figura 33 apresenta valores máximos e mínimos registrados pelo *datalogger* externo e verificado como foi o comportamento térmico no mesmo dia e horário dos mesmos períodos analisados.

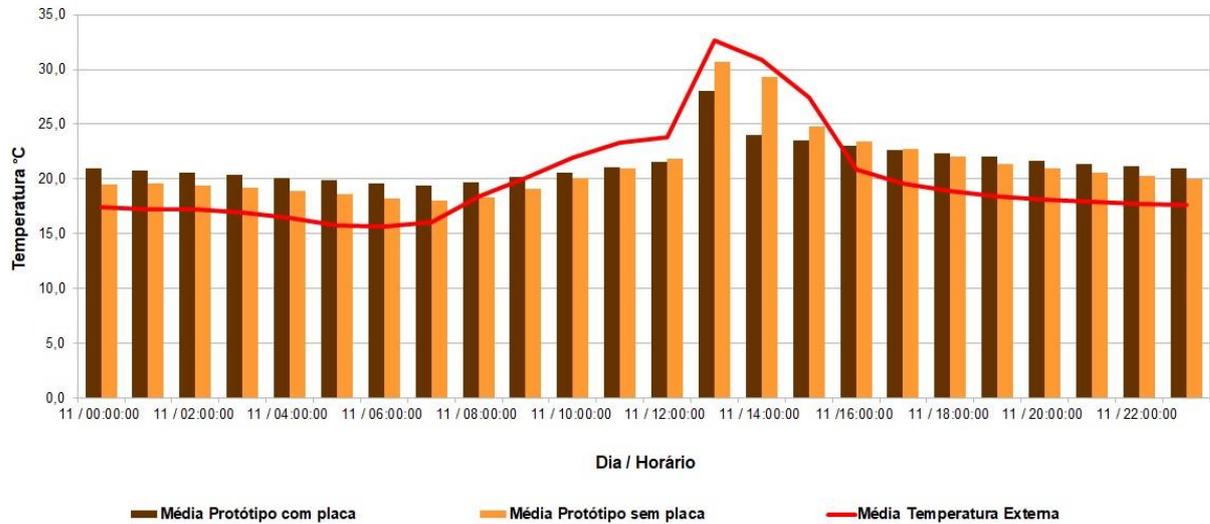
Figura 33 – Temperaturas máximas e mínimas registradas pelos *dataloggers* HT-70.

Temperaturas máximas e mínimas registradas pelo equipamento HT-70							
	Temp. Máx.	Data	Hora		Temp. Mín.	Data	Hora
Temperatura Externa	32,7	11/mai	13:00		10,6	04/ago	06:00
Protótipo sem tratamento	30,7	11/mai	13:00		13,1	04/ago	06:00
Protótipo com Placas	28,0	11/mai	13:00		15,0	04/ago	06:00

Fonte: Autora da pesquisa.

A temperatura mais elevada registrada pelo *datalogger* externo foi de 32,7 °C, às 13 horas do dia 11 de maio, enquanto que a menor temperatura foi de 10,6 °C, no dia 04 de agosto às 06 horas. Para a maior temperatura registrada e o pico máximo para cada protótipo analisado conforme demonstrado na figura 34, o protótipo sem tratamento apresentou uma temperatura de 30,7 °C enquanto que o protótipo com placas registrou a temperatura de 28 °C, ou seja, uma diferença de temperatura entre protótipos na ordem de 2,7 °C e uma diferença entre temperatura externa e do protótipo com placas o valor de 4,7 °C. Já em relação ao atraso térmico, observou-se que as temperaturas máximas registradas em ambos os protótipos não apresentaram atraso se comparado com a temperatura externa, porém, quando analisado o intervalo entre o aumento e diminuição da temperatura externa, é possível verificar que a amplitude térmica no interior do protótipo com placa apresenta uma resposta mais positiva, chegando a apresentar até 6,9 °C de diferença de temperatura, durante o intervalo de uma hora.

Figura 34 - Temperaturas internas e externa verificadas no dia mais quente do período analisado – 11 de maio.



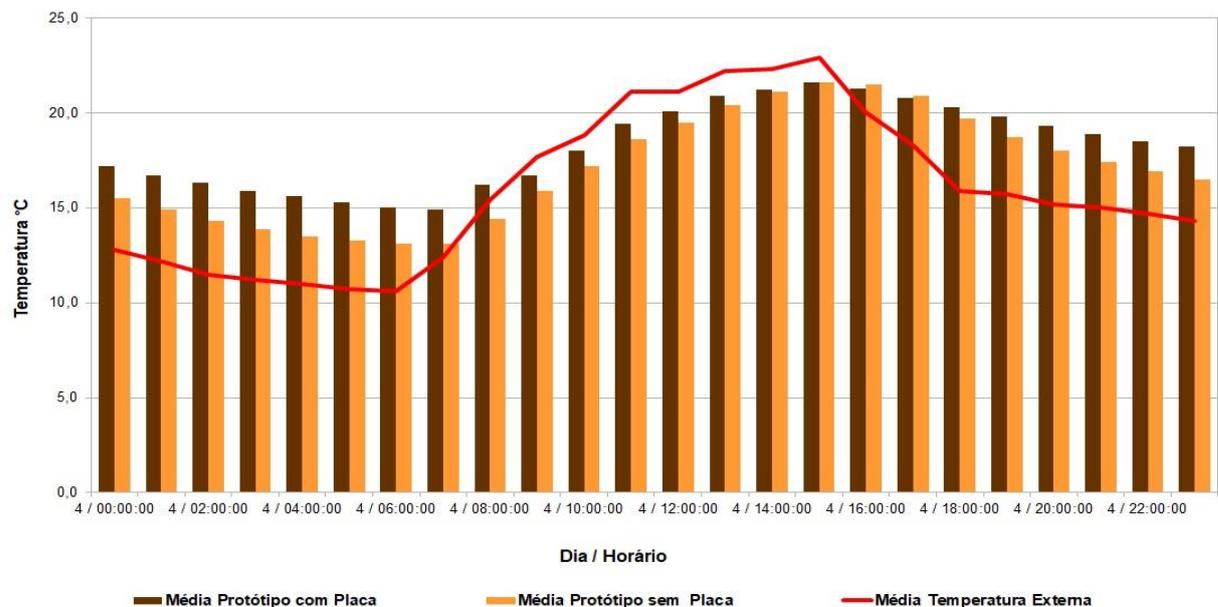
Fonte: Autora da pesquisa.

Desse modo, conforme o esperado, embora ambos os protótipos construídos com o mesmo bloco cerâmico de seis furos, àquele que recebeu revestimento nas quatro fachadas apresentou uma atenuação térmica interna considerável, ficando evidente o impacto que o tratamento térmico na envoltória desse protótipo representa positivamente na inércia térmica do material para o ambiente interno e também uma temperatura menor do que o protótipo que não recebeu nenhum tratamento em sua envoltória.

Posteriormente, identificando a temperatura mais amena, registrada durante os quatro meses de coleta de dados, ocorreu no dia 04 de agosto às 06:00, onde o *datalogger* externo registrou a mínima de 10,6 °C, e as temperaturas analisadas com os aparelhos internamente registraram no protótipo sem tratamento a temperatura de 13,1 °C, enquanto o protótipo com placas apresentou uma temperatura de 15,0 °C no mesmo dia e horário, logo, uma diferença entre protótipos de 1,9 °C e uma diferença entre ambiente externo e temperatura interna do protótipo com placas de 4,4 °C mais quente, conforme demonstra a figura 35. Com isso, é possível verificar que ambos os protótipos mantiveram temperaturas sempre acima do registrado pelo *datalogger* externo nos períodos entre 00:00 a 06:00 e também ao final do dia, entre 16:00 a 23:00. Não obstante, é possível verificar que a temperatura interna apresentada em dias mais frios responde de maneira positiva no interior do protótipo com placa.

Por fim, considerando a menor temperatura registrada pelo aparelho externo e o pico de temperatura máxima para cada protótipo, verificou-se que ambos os protótipos apresentaram uma diferença de temperatura de $11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, atingindo esse valor máximo com um atraso térmico de 9 horas após o registro de temperatura externa, onde a temperatura se igualou a $21,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Entretanto, o resfriamento do protótipo com tratamento térmico através das placas apontou um maior atraso térmico, registrando ainda a diferença térmica de $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ em comparação com o protótipo que não recebeu tratamento térmico na envoltória. Desse modo, é possível concluir através da atenuação térmica nos ambientes internos e o atraso térmico efetivo, que o tratamento térmico aplicado no protótipo respondeu de forma positiva a inércia térmica para os espaços internos projetados.

Figura 35 - Temperaturas internas e externa verificadas no dia mais frio do período analisado dia 04 de agosto.



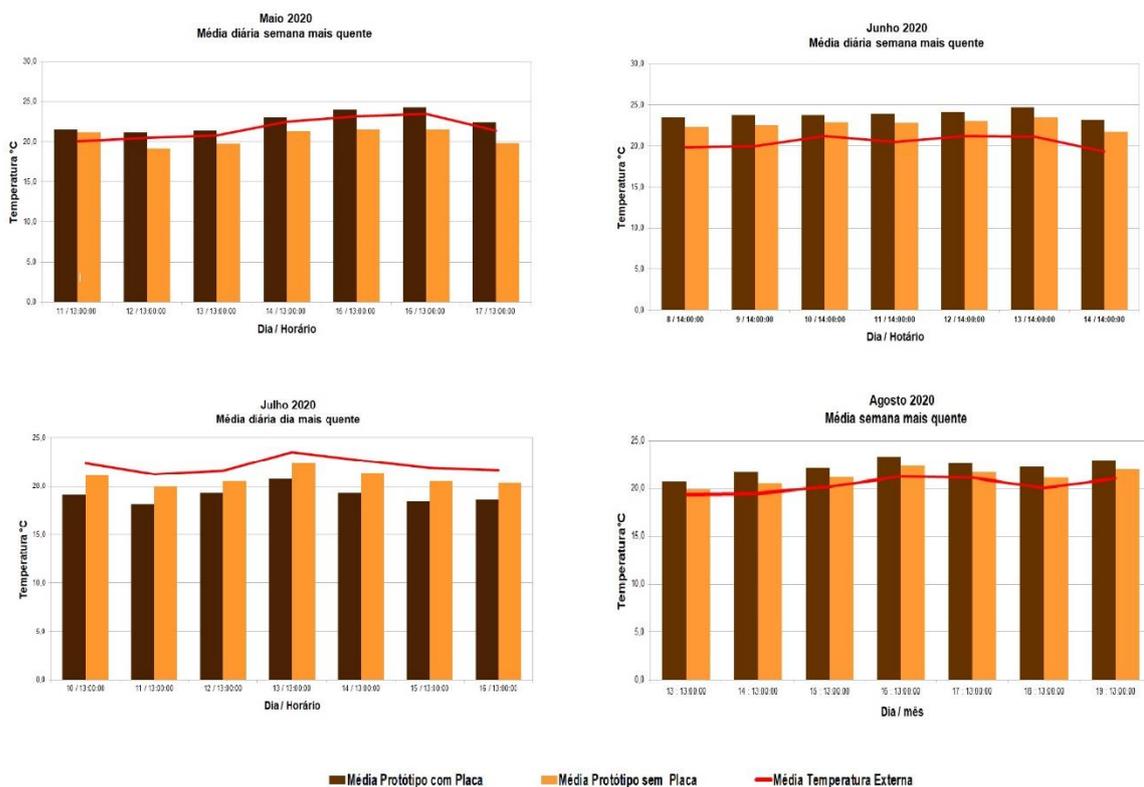
Fonte: Autora da pesquisa.

Após essa primeira análise entre máximas e mínimas registradas durante os quatro meses de estudos, procedeu-se a análise mês a mês entre os dias 01 de maio a 31 de agosto, analisando dessa forma a semana mais quente e a semana mais fria de cada mês. Durante esse período, ocorreram duas estações consideradas mais amenas para o nosso país: outono e inverno. Esse período foi escolhido para analisar o comportamento térmico dos protótipos diante da cidade a qual foi feita o experimento, possuindo uma altitude considerável e relevante de 923 metros acima do nível do mar, apresentando clima ameno nesse período do ano. Com esse ensaio, foi

possível verificar o atraso térmico que o material desenvolvido é capaz de apresentar e o comportamento ao longo das semanas em situações distintas. Conforme apontado por Dallastra (2020), materiais que apresentam maior inércia térmica são capazes de conservar a temperatura interna abaixo da externa durante o dia e a noite, quando os protótipos deixam de receber a incidência solar, os valores das temperaturas internas excedem a externa.

A figura 36 apresenta a análise feita entre com as quatro semanas mais quentes registradas mês a mês para análise do comportamento térmico de cada protótipo. Durante os quatro meses analisados, verificou-se que houve uma diferença no comportamento térmico dos protótipos, principalmente qual analisada a questão das médias da temperatura externa com as médias das temperaturas internas registradas nos protótipos.

Figura 36 - Gráfico das quatro semanas mais quentes analisadas entre os meses maio a agosto.



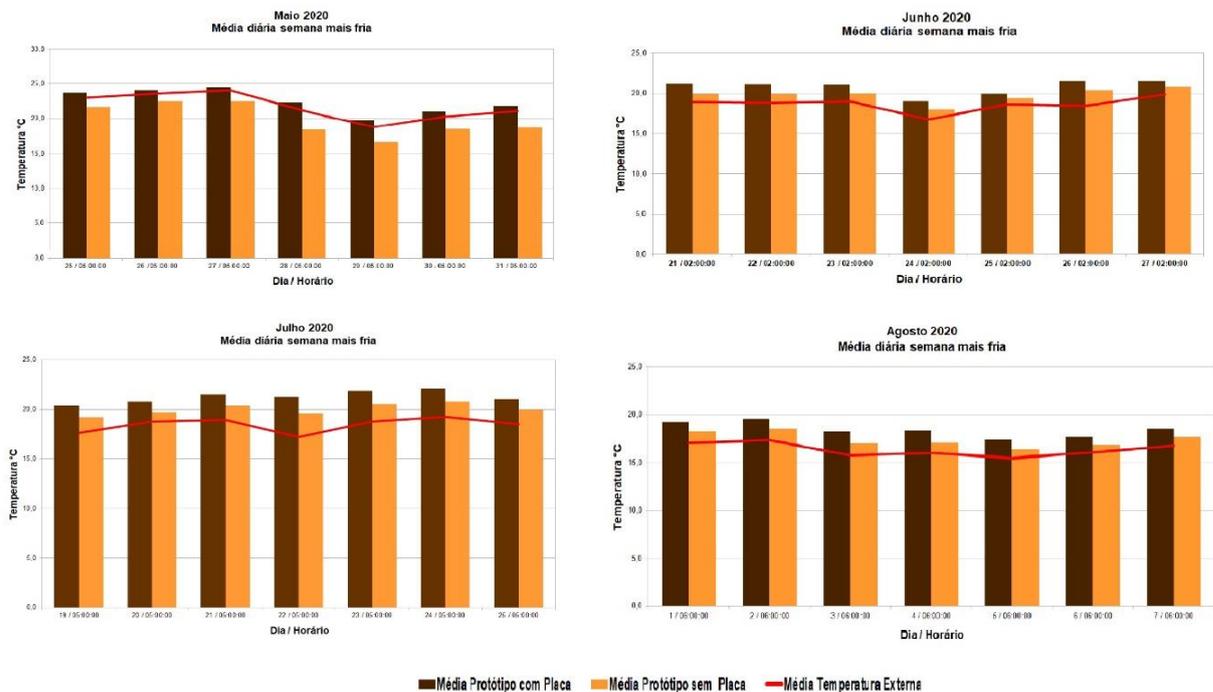
Fonte: Autora da pesquisa.

Foi observado que em dias mais quentes, os protótipos apresentaram um acúmulo de calor, mantendo as médias das temperaturas internas mais elevadas do que a temperatura externa. Essa observação é ainda mais relevante ao notar que o comportamento térmico do protótipo que recebeu a aplicação das placas em sua envoltória apresentou temperaturas mais elevadas do que o protótipo sem revestimento, apontando dessa forma o atraso térmico existente

entre alvenaria, câmara de ar e placa. Não obstante, essa configuração sugere que a barreira térmica instalada nas fachadas do protótipo contém o calor absorvido durante o dia e a liberação do mesmo ocorre de forma lenta, e esse retardo ocorre em função da inércia térmica. Logo, para o clima de Vitória da Conquista – BA, o que melhor se aplica nessa situação seria o uso de materiais com alta inércia térmica associado a estratégia de ventilação natural cruzada no verão, por exemplo, favorecendo dessa forma, a troca de calor e o equilíbrio térmico existente entre o ambiente construído e exterior.

Com relação aos dados coletados durante as quatro semanas mais frias verificadas nesta pesquisa entre os meses de maio e agosto, realizou-se a análise da média das temperaturas registradas no *datalogger* externo e nos *dataloggers* instalados no interior dos protótipos. Para a média das temperaturas externas registradas nas quatro semanas (figura 37), foi possível concluir que existem equivalências com as médias analisadas nos quatro meses, ou seja, o comportamento térmico apresentado nos protótipos apontam para médias de temperatura interna sempre superiores às medias registradas em relação a temperatura externa, sendo que o protótipo envolto com as placas apresentou uma diferença de até 4,4 °C se comparado com o protótipo sem tratamento, que registou 2,5 °C acima da média comparada com a temperatura externa.

Figura 37 - Gráfico das quatro semanas mais frias analisadas entre os meses maio a agosto.



Fonte: Autora da pesquisa.

Logo, é possível verificar que existe um atraso térmico que favorece a inércia térmica da parede que recebeu tratamento térmico, corroborando com o que preconiza a normativa no que tange o quesito para estratégias bioclimáticas para regiões com temperaturas mais amenas. De acordo com Tavares (2004), as particularidades climáticas de cada região estão ligadas aos aspectos geográficos existentes, logo, faz-se necessário a realização de estudos específicos para cada localidade. Acerca do clima de Vitória da Conquista, Lima et al (2006) substanciam que, da análise climática de uma forma geral, o município apresenta média anual de temperatura de 21,3 °C e, por estar situada em uma região cuja altitude está acima dos 900 metros, apresenta um microclima do tipo Topical de Altitude. Maia (2005) descreve características climáticas marcantes no município, tais como: baixas temperaturas, com médias mensais que variam de 17,1 °C no mês de julho a 22,2 °C no mês de março e temperaturas amenas durante todo o ano, com elevada amplitude térmica diária, principalmente nas estações do ano ocorridas na primavera e outono.

De modo geral, durante o período analisado (maio, junho, julho e agosto) são solicitados aquecimento solar passivo e uso de materiais com alta inércia térmica, conforme apresentaram os resultados obtidos com a carta bioclimática para a cidade de Vitória da Conquista. Ademais, após a realização da coleta, tratamento de dados e todas as análises discutidas nesta pesquisa, verificou-se que o protótipo que recebeu em sua envoltória as placas desenvolvidas a partir do compósito natural com casca de café apresentou maior inércia térmica quando comparado ao protótipo sem tratamento.

Entretanto, sob o estudo acerca do desempenho térmico da edificação, é relevante considerar que os ambientes analisados apresentam dimensões menores do que uma edificação convencional e foram construídos de forma a vedar totalmente os protótipos, não apresentando nenhum tipo de troca de calor ou abertura para ventilação natural permanente ou esporádica. Para Spinelli et al. (2018), materiais naturais utilizados para isolamento térmico, tais como o junco, o bagaço de cana, a fibra de folhas de abacaxi, a casca de arroz, dentre outros testados e avaliados, de acordo com a resposta da condutividade térmica de cada material analisado em laboratório, é de grande relevância que esses materiais sejam aplicados em protótipos construídos em escala real, comparando dessa forma com materiais utilizados na construção civil a sua durabilidade, resistência e comportamento térmico como isolante térmico aplicado em fachadas. Por fim, a alta inércia térmica de um material, associado a outras estratégias que auxiliam no tratamento térmico numa edificação, em conjunto, são capazes de contribuir na promoção desempenho térmico do ambiente construído (RODRIGUES et al., 2016).

Por fim, conforme o que é sugerido para a Zona Bioclimática 5 na normativa, em períodos mais quentes, as aberturas para ventilação devem ser médias e sombreadas. Ademais, a vedação externa ser do tipo leve, tanto para paredes quanto para a cobertura. Já para o condicionamento térmico passivo em ambientes internos, é sugerido para o verão a ventilação cruzada e, para o inverno, vedações internas pesadas, favorecendo a inércia térmica (ABNT, 2005b).

5 CONCLUSÕES

A pesquisa realizada alcançou os objetivos propostos, ou seja, desenvolver um material compósito natural que apresentasse características pertinentes para o tratamento térmico em fachadas composto por resíduo orgânico agrícola advindo do café para uso na construção civil.

O material apresentou resultados pertinentes e se mostrou viável pois. Os parâmetros térmicos comparados entre protótipos apontam que os compósitos à base de casca de café podem ser utilizados como isolantes térmicos, visto que possuem valores compatíveis com isolantes térmicos convencionais. A resistência do material foi aumentada uma vez que a placa de café foi revestida com concreto, tornando esse material resistente e homogêneo. A resposta térmica entre a estrutura revestida apenas com blocos cerâmicos e a que recebeu o revestimento com as placas produzidas foi bastante positiva, apresentando uma diferença térmica entre a temperatura externa e a interna nos protótipos de até 4,7 °C em dias mais quentes e de até 6,2 °C em dias mais frios.

Vale salientar que os protótipos desenvolvidos para o estudo foram desenvolvidos em escala reduzida, o que não condiz com situações reais para análise do desempenho térmico em uma edificação real, visto que não apresentam áreas adequadas, muito menos receberam acabamentos internos e externos que também auxiliam na resposta térmico no interior da edificação construída. Entretanto, é possível afirmar que o material desenvolvido e aplicado influenciou diretamente nas condições de desempenho térmico de um ambiente edificado e, portanto, devem ser considerados ainda em fase de concepção projetual.

No que diz respeito à questão ambiental, a avaliação do material produzido também pode ser considerada como positiva, haja vista que o mesmo foi confeccionado através de um resíduo agrícola que é gerado em grande quantidade e muitas vezes possui uma destinação apropriadas, além de ser altamente combustível. O material produzido desta pesquisa apresentou uma forma de reutilização do resíduo orgânico advindo do beneficiamento do café com a finalidade de produzir um material capaz de ser utilizado na construção civil cuja finalidade é o isolamento térmico, tendo a sua viabilidade para uma possível comercialização. Esse processo de comercialização é bastante pertinente para os produtores de café e empresas que industrializam o produto, proporcionando uma destinação consciente e mais adequada do que simplesmente descartar queimar ou incinerar.

Como sugestões para possíveis trabalhos futuros, temos:

- Analisar o ciclo de vida do material elaborado;
- Testar as amostras variando a quantidade de material orgânico e resina, bem como a sua compactação;
- Quantificar e avaliar a interferência que a quantidade de resina a base de água interfere positiva ou negativamente na resposta térmica do material;
- Analisar questões pertinentes ao material, tais como: possíveis ataques biológicos, durabilidade e exposição a intempéries, ensaios para resistência ao fogo, absorção de umidade e acústica;
- Aprimorar metodologia para a produção dos painéis para fins estéticos e a sua aplicação em paredes internas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculos da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.

BARBOZA, A.S.R.; BARBIRATO, J.C.C.; SILVA, M.M.C.P. Avaliação do uso de bambu como material alternativo para a execução de habitação de interesse social. **Ambiente Construído**, v.8, p.115-129, 2008.

BARCELOS, A.F.; GONCALVES, C.C.M. **Aproveitamento da casca de café na alimentação animal**. In: __. Café Arábica: da pós-colheita ao consumo. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2011. v. 2, p. 97-168.

BARCELOS, A.F. et al. **Características fermentativas de silagens de polpa de café com diferentes proporções de casca de café**. Boletim de Indústria Animal, Nova Odessa, v. 70, n. 3, p. 206-214, 2013.

BÁRTHOLO, G.F. et al. **Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.

BENMANSOUR, N.; AGOUDJIL, B.; GHERABLI, A.; KARECHE, A.; BOUDENNE, A. Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 98-104, 2014.

BERALDO, A. L.; ARRUDA, A. C.; STANCATO, A. C.; SAMPAIO, C. A. P.; FERNADES FILHO, O. P.; LEONEL, V. M. **Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland**. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeiras, 2002.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2012.
COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira café safra 2015: quarto levantamento. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BORÉM, F.M.; RIBEIRO, D.M.; PEREIRA, R.G.F.A.; ROSA, S.D.V.F. da; MORAIS, A.R. de. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. **Coffee Science**, Lavras, v.1, n.1, p.55-63, abr./jun. 2006.

COSTA, M.L.; FREIRE, M.R.; KIPERSTOK, A. Strategies for thermal comfort in university buildings - The case of the faculty of architecture at the Federal University of Bahia, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 239, n. February, p. 114–123, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.004>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

CRAVO, J.; SARTORI, D.; BALIEIRO, J.; FIORELLI, J. Compósito à base de resíduos agrícolas para aplicação como forro em aviários. **Journal Bioeng**, v.9 n.4, p.358-367, 2015.

CRUZ, M.P.; FERREIRA, R.J.P.; MARINHO, G.S. **Aplicação de resíduo industrial para isolamento térmico de ambientes**. In: XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2009, Salvador. Anais ... Salvador: ABEPRO, 2009.

DALLASTRA, M.; SILVA, A.F.; SPINELLI, R.; DALLACORT, R.; BALZOCHIO, M.S.; KONRAD, O. Bioclimatic strategies for the city of Tangará da Serra / MT – Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 15 – Vol. 25 – JUL/DEZ 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/66379>>. Acesso em: 10 jul 2020.

DALLASTRA, M. **Estratégias Bioclimáticas para edificações no clima de Tangará da Serra – MT**. Dissertação (Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento), Universidade do Vale do Taquari, UNIVATES, Lageado, 2020.

DULTRA, E.J.V. **Adição de subprodutos da cinza da casca de café (Coffea canephora) em massa cerâmica para porcelanato**. 2013. 135 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

EVON, P.; VANDENBOSSCHE, V.; PONTALIER, P.Y.; RIGAL, L. New thermal insulation fiberboards from cake generated during biorefinery of sunflower whole plant in a twin-screw. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 354-362, 2014.

FENILLI, R.J. **Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação. Climatização e Refrigeração**. n. 94, 2008.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 7. Ed. – São Paulo: Studio Nobel, 2003.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: 244 p. Studio Nobel, 2005.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.107-114, 2005.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONÇALVES *et al.* **Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa**. Lisboa, INETI, 2004.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília: IPEA, 2012.

KINSEL, L.S. **Avaliação do conforto e da energia em edifícios residenciais de Porto Alegre**. 2009. 194f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; LABAKI, L.C. **O Projeto Arquitetônico e o Conforto Ambiental: Necessidade de uma Metodologia**. Anais do ENTAC 1993 – V Encontro

Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Avanços em Tecnologia e Gestão da Produção de Edificações, São Paulo, SP. 1993. p. 785-794.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, SP, 188p. 1997.

LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. **Levantamento do estado da arte: Energia. Documento 2.2. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**. São Paulo: FINEP, 2007. 94p.

LEÃO, E.F.T. **Carta Bioclimática de Cuiabá- Mato Grosso**. 163 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Cuiabá, 2017.

LIMA, K.C.; PITIÁ, A.M.A.; SANTOS, J.M. dos. **Uma contribuição aos estudos de geomorfologia climática em ambiente semi-árido na região sudoeste da Bahia**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL, 4. CONFERENCE EM GEOMORPHOLOGY, 2006, Goiânia-GO. Anais...Goiânia-GO, 2006. p. 1-15.

LIMA, S.A.; ROSSIGNOLO, J.A. Estudo das características químicas e físicas da conza da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios. **Acta Scientiarum Technology**, v.32, p.383-389, 2010.

LIPING, W.; HIEN, W.N. The Impacts of Ventilation Strategies and Facade on Indoor Thermal Environment for Naturally Ventilated Residential Buildings in Singapore. **Building and Environment**, v.42, n.1, p. 4006-4015, 2007.

MACEDO, M. C.; SOUZA, L. G. M.; GOMES, I. R. B.; MEDEIROS, L. C. Materiais compósitos a base de gesso e isopor para a construção de casas populares. **Holos**, v.5, p. 95-105, 2011.

MADURWAR, M. V.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 872-878, 2013.

MAIA, M. R. **Zoneamento geoambiental do município de Vitória da Conquista - BA: um subsídio ao planejamento**. 2005. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Salvador: UFBA, 2005.

MANZANO-AGUGLIARO, F.; MONTOYA, F. G.; SABIO-ORTEGA, A.; GARCÍA-CRUZ, A. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Elsevier, v. 49, p. 736-755. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115003652?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MATI-BAOUCHE, N.; DE BAYNAST, H.; LEBERT, A.; SUN, S.; LOPEZ-MINGO, C. J.S.; LECLAIRE, P.; MICHAUD, P. **Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan**. *Industrial Crops and Products*, v. 58, p. 244-250, 2014.

MESQUITA JÚNIOR, L. et al. Compósitos à base de cimento e gesso reforçados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science). v. 9, n.3, p.191-198. Disponível em <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/12185/8883>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

NOGUEIRA, R.M.; ROBERTO, C.D.; SAMPAIO, C.P. **Desmucilagem do café: uma decisão pela qualidade**. Viçosa: CaféPoint, 2007. Disponível em: <<http://www.cafepoint.com.br/radares-tecnicos/poscolheita/desmucilagem-do-cafe-uma-decisao-pela-qualidade-33995n.aspx>>. Acesso em: 25 jan. 2019.

OLGYAY, V. **Arquitetura y clima. Manual de diseño para arquitectos y urbanistas**. Gustavo Gili, S.A. Barcelona, 1998. Revista Cafeicultura; Disponível em:<<https://revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=68788&exportacoes-de-cafe-do-brasil-atingem-3-2-milhoes-de-sacas-em-janeiro.html>>. Acesso em: 12 fev. 2020.

ROSA, F.S. da. **Desenvolvimento de material de isolamento térmico compósito à base de sabugo de milho**. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2019.

ROSA, F.S; SCHERER, M. Desempenho térmico de paredes de alvenaria protegidas com revestimento de compósitos de resíduos agrícolas. **Revista Gestão Industrial**, v.14, n. 2, p. 96-113, 2018.

ROSA, L.C.; SANTOR, C.G.; LOVATO, A.; ROSA, C.S.; GÜTHS, S. Use of ricehusk and sunflower stalk as a substitute for glass wool in thermal insulation of solar collector. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 90-97, 2015.

RUIZ, E.; ROMERO, I.; MOYA, M.; CARA, C.; VIDAL, J. D.; CASTRO, E. Dilute sulfuric acid pretreatment of sunflower stalks for sugar production. **Bioresource Technology**, v. 140, p. 292-298, 2013.

SAATH, R.; BOREM, F. M.; ALVES, E.; TAVEIRA, J. H. S.; MEDICE, R.; CORADI, P.C. Scanning electron microscopy of the endosperm of coffee (*Coffea arabica* L.) during the drying process. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 196-203, jan./fev., 2010.

SALGADO, M.S.; CHATELET, A.; FERNADEZ, P. Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 81-99, out./dez. 2012.

SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Manual de obras públicas sustentáveis**. Belo Horizonte, 2008.

SERAFIM, G; REMOR, R; FENATO, C. S. P. M. Estratégias bioclimáticas para projeto arquitetônico na cidade de Umuarama – PR. **Akrópolis**. Umuarama, v. 25, n. 2, p. 91-101, jul./dez. 2017.

SFREDO, M.A.; FINZER, J.R.D.; LIMAVERDE, J.R. Heat and mass transfer in coffee frits drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v.70, p.15-25, 2005.

SILVA G. R.; NETO C. D.; SANTOS A. C. N. S.; NOVAES J. C. **Caracterização da notoriedade do café do Planalto de Vitória da Conquista – BA, para a indicação geográfica de procedência**. VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 25 a 28 de novembro de 2013, Salvador - BA.

SILVEIRA, F.M. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55**. Francisco Massucci Silveira. – Campinas, SP: [s.n.], 2014.

SIMIONOVSKI, C.S. **Variação de recursos financeiros com a aplicação do regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) na fase de projeto de uma biblioteca padronizada de um instituto federal**. 98p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, programa de pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2018.

SIQUEIRA JÚNIOR, A.A. de. **A qualidade na execução de projetos de fachadas ventiladas**. Pesquisa – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SORGATO, M.J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SOUTULLO, S. et al. Comparative thermal study between conventional and bioclimatic office buildings. **Building and Environment**, v. 105, p. 95–103, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231630169X>>. Acesso em: jun. 2019.

SPINELLI, R.; KONRAD, O.; CAMBEIRO, F. P.; AHLERT, E.; SPINELLI, F.; QUADROS, E. A. Bioclimatic strategies for the city of Lajeado/RS-Brazil, using data analysis of regional climate. **Revista Brasileira de Climatologia**. Curitiba, ano 13, v. 21, p. 153-171, jul/dez. 2017, ISSN 2237-8642. Disponível em <<http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/50554>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

SPINELLI, R.; CAMBEIRO, F. P.; KONRAD, O. Estudo de materiais naturais para aplicação em isolamento térmico de edificações. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.3, p. 121-135, 2018.

TAVARES, A.C. Mudanças Climáticas. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Brasil Bertrand, 2004.

TEIXEIRA, M.N.M. **Determinação da degradabilidade in situ das diferentes frações da casca do grão de três cultivares de café (Coffea arabica L.)**. 1999. 44 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Ruminantes) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ONU – Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em <http://www.agenda2030.org.br/saiba_mais/publicacoes>. Acesso em: 5 jul. 2019.

RUPP, R.F.; VÁSQUEZ, N.G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178–205, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

VENTURIM, J. B. **Gestão de resíduos orgânicos produzidos no meio rural: o caso do beneficiamento do café**. 2002. 102 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

VERBEKE, S.; AUDENAERT, A. Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.82, n. May 2017, p. 2300-2318.

WEI, K.L.V.C.; CHEN, M.; ZHOU, X.; DAI, Z.; SHEN, D. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. **Energy and Buildings**, v. 87, p. 116-122, 2015.