



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

NÁDIA MARIA WELIN BALVEDI

**INFLUÊNCIA DA TIPOLOGIA DE COBERTURA VERDE NO
DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES E
NO SEU ENTORNO**

Londrina
2020

NÁDIA MARIA WELIN BALVEDI

**INFLUÊNCIA DA TIPOLOGIA DE COBERTURA VERDE NO
DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES E
NO SEU ENTORNO**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Thalita Gorban Ferreira Giglio

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

W446 Balvedi, Nádia Maria Welin.

Influência da tipologia de cobertura verde no desempenho termoenergético de edificações e no seu entorno / Nádia Maria Welin Balvedi. - Londrina, 2020.
165 f.

Orientador: Thalita Gorban Ferreira Giglio.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2020.

Inclui bibliografia.

1. Cobertura verde - Tese. 2. Eficiência energética em edificações - Tese. 3. Desempenho termoenergético - Tese. I. Giglio, Thalita Gorban Ferreira. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 62

NÁDIA MARIA WELIN BALVEDI

**INFLUÊNCIA DA TIPOLOGIA DE COBERTURA VERDE NO
DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES E NO SEU
ENTORNO**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof.^a Dr.^a Thalita Gorban Ferreira
Giglio
Universidade Estadual de Londrina- UEL

Prof.^a Dr.^a Camila Gregório Atem
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Érico Masiero
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Londrina, 26 de agosto de 2020.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar, dar força e proteção para seguir por esse caminho.

Aos meus pais, Jari e Nanny pelo constante apoio durante todo o processo, sempre presentes com muitas palavras de incentivo e amor.

Ao meu irmão Mário, pelo incentivo e disposição para me auxiliar sempre.

Ao meu noivo Renato Pagliarini, que acompanhou de perto todo esse ciclo, pelo companheirismo e pela compreensão.

À minha orientadora Prof.^a Thalita Giglio pela paciência, dedicação, confiança e incentivo, que foram vitais para o desenvolvimento desse estudo.

Aos professores Camila Atem e Érico Masiero pelas valiosas contribuições.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, pela oportunidade, principalmente aos professores que contribuíram imensamente com a minha formação profissional.

Aos amigos de estudo, Vanessa, Jéssica, Rafaela, Célis e Guilherme, pelo apoio, pelas conversas e ajuda ao longo desse ciclo. E, principalmente, pela amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À todos, que direta ou indiretamente, contribuíram com esse trabalho, inclusive aos que eventualmente não foram citados.

BALVEDI, Nácia Maria Welin. **Influência da tipologia de cobertura verde no desempenho termoenergético de edificações e no seu entorno**. 2020. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

RESUMO

A busca por estratégias passivas de eficiência energética tem, entre seus objetivos, reduzir o consumo de energia para refrigeração e aquecimento nas edificações. Dentre as estratégias, a cobertura verde é bastante difundida como uma solução que oferece bom desempenho termoenergético e benefícios para o ambiente externo, tais como a umidificação e redução da temperatura do ar, redução do escoamento superficial de água pluvial e melhora na qualidade do ar. No entanto, há uma grande variação no comportamento da cobertura verde a depender das condições climáticas a que está submetida. Além disso, existe uma carência de estudos que abordem a variação da tipologia da cobertura verde buscando a diversidade existente em termos de vegetação e substrato. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo analisar a influência da tipologia da cobertura verde no desempenho termoenergético de edificações e no seu entorno em zonas bioclimáticas brasileiras. Para isso, primeiramente definiu-se as características da cobertura verde a serem simuladas a partir de parâmetros disponíveis na literatura. Os parâmetros foram combinados fatorialmente e geraram 1944 variações de cobertura verde para cada cidade para análise aprofundada da composição que apresenta menor consumo de energia para refrigeração e aquecimento. Os resultados de consumo foram comparados ao desempenho obtido por duas coberturas de referência sendo elas a cobertura composta por laje maciça de concreto coberta por telha de fibrocimento com absorvância solar de 0,8 e pela cobertura fria, de mesma composição, porém com absorvância solar de 0,2. Por fim, foi analisado o balanço térmico anual da cobertura verde com menor consumo de energia e das coberturas de referência de forma a determinar qual cobertura apresentou maior benefício para o ambiente externo. Os resultados mostraram que os parâmetros mais influentes se repetem entre os indicadores de desempenho. Em geral, os parâmetros mais relevantes da cobertura verde para o consumo de energia para aquecimento e refrigeração foram o índice de área foliar da vegetação, a espessura e a transmitância térmica do substrato. Para Porto Alegre, o baixo índice de área foliar combinado a elevada espessura e baixa transmitância térmica do substrato garantiu um bom desempenho termoenergético. Para Brasília e São Luís foi importante o índice de área foliar elevado combinado com espessura intermediária e transmitância térmica intermediária e alta, respectivamente. O balanço térmico mostrou como a tipologia da cobertura verde e o clima influenciam na quantidade de calor sensível liberado para o ambiente externo e a importância da evapotranspiração, para o equilíbrio do balanço.

Palavras-chave: Telhado verde. Eficiência Energética. Desempenho termoenergético. Balanço térmico. Simulação computacional.

BALVEDI, Nádia Maria Welin. **Influence of the green roof typology on the buildings energy performance and their surroundings**. 2020. 166 p. Dissertation (Mastering in Civil Engineering) – State University of Londrina, Londrina, 2020.

ABSTRACT

The search for passive energy efficiency strategies has, among its objectives, to reduce energy consumption for cooling and heating in buildings. Among the strategies, green roof is very widespread as a solution that improves energy performance and benefits to the external environment, such as humidification and reduction of air temperature, reduction of rainwater runoff and improvement in air quality. However, there is a great variation in the behavior of the green cover depending on the climatic conditions to which it is submitted. In addition, there is a lack of studies that address the variation of the green cover typology seeking the existing diversity in terms of vegetation and substrate. In this sense, this work aims to analyze the influence of the green cover typology on the energy performance of buildings and their surroundings in Brazilian bioclimatic zones. For that, first the characteristics of the green cover to be simulated were defined based on parameters available in the literature. The parameters were factorially combined and generated 1944 variations of green cover for each city for in-depth analysis of the composition that presents lower energy consumption for cooling and heating. The consumption results were compared to the performance obtained by two reference roofs, being the roof composed of a solid concrete slab covered with a fiber cement tile with a solar absorbance of 0.8 and the cold roof, with the same composition, but with a solar absorbance of 0.2. Finally, the annual thermal balance of the green roof with lower energy consumption and the reference roofs were analyzed in order to determine which roof presented the greatest benefit to the external environment. The results showed that the most influential parameters are repeated among the performance indicators. In general, the most relevant green cover parameters for energy consumption for heating and cooling were the leaf area index of the vegetation, the thickness and the thermal transmittance of the substrate. For Porto Alegre, the low leaf area index combined with the high thickness and low thermal transmittance of the substrate ensured a good energy performance. For Brasília and São Luís the high leaf area index combined with intermediate thickness and high and intermediate thermal transmittance was important, respectively. The thermal balance showed how the type of green cover and climate influence the amount of sensitive heat released to the outside environment and the importance of evapotranspiration for balance.

Keywords: Green coverage. Energy efficiency. Thermoenergetic performance. Heat balance. Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 1 | (a) cobertura verde extensiva (b) cobertura verde intensiva..... | 18 |
| Figura 2 | Configuração de coberturas verdes | 19 |
| Figura 3 | Fluxo de calor na cobertura verde..... | 20 |
| Figura 4 | Índice de Área Foliar (LAI) | 21 |
| Figura 5 | Balanco energético da cobertura verde. | 24 |
| Figura 6 | Esquema do experimento e posição dos sensores..... | 32 |
| Figura 7 | Fluxo de calor sensível liberado pela cobertura verde em cidades diferentes..... | 36 |
| Figura 8 | Planta baixa, elevações e perspectiva da tipologia de estudo | 38 |
| Figura 9 | Zonas bioclimáticas estudadas | 42 |
| Figura 10 | Evolução mensal da temperatura do ar média e umidade relativa do ar média segundo o arquivo climático das três cidades..... | 43 |
| Figura 11 | Planta de cobertura..... | 47 |
| Figura 12 | Cobertura verde extensiva e monitoramento | 47 |
| Figura 13 | Planta do dormitório de solteiro..... | 48 |
| Figura 14 | Perspectiva do modelo de calibração da simulação | 48 |
| Figura 15 | Persianas | 50 |
| Figura 16 | Gráfico comparativo dos resultados de temperatura do substrato | 56 |
| Figura 17 | Gráfico comparativo dos resultados de temperatura da vegetação | 57 |
| Figura 18 | Quantidades de casos para consumo relativo para aquecimento em Porto Alegre..... | 61 |
| Figura 19 | Quantidades de casos para consumo relativo para refrigeração em Porto Alegre | 61 |
| Figura 20 | Consumo relativo para aquecimento para as 1944 combinações paramétricas em Porto Alegre..... | 63 |
| Figura 21 | Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros calor específico (c) e densidade do substrato seco (p) em Porto Alegre..... | 64 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 22 | Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros condutividade térmica (λ) e espessura do substrato (e)..... | 65 |
| Figura 23 | Consumo relativo para refrigeração para as 1944 combinações paramétricas em Porto Alegre..... | 66 |
| Figura 24 | Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros calor específico (c) e densidade do substrato seco (ρ) em Porto Alegre..... | 68 |
| Figura 25 | Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros condutividade térmica (λ) e espessura do substrato (e) em Porto Alegre | 68 |
| Figura 26 | Quantidades de casos para consumo relativo para aquecimento em Brasília..... | 72 |
| Figura 27 | Quantidades de casos para consumo relativo para refrigeração em Brasília | 72 |
| Figura 28 | Consumo relativo para aquecimento para as 1944 combinações paramétricas em Brasília | 73 |
| Figura 29 | Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros calor específico e densidade do substrato seco em Brasília | 75 |
| Figura 30 | (a) resultados para aquecimento variando o calor específico (c) e (b) resultados para aquecimento variando a densidade (ρ) em Brasília | 76 |
| Figura 31 | Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros condutividade térmica e espessura do substrato seco em Brasília | 76 |
| Figura 32 | (a) resultados para aquecimento variando a condutividade térmica (λ) em Brasília e (b) resultados para aquecimento variando a espessura do substrato (e) em Brasília | 77 |
| Figura 33 | Consumo relativo para refrigeração para as 1944 combinações paramétricas em Brasília | 78 |
| Figura 34 | Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros calor específico e densidade do substrato seco em Brasília | 79 |
| Figura 35 | (a) resultados para refrigeração variando o calor específico (c) e (b) resultados para refrigeração variando a densidade do substrato (ρ) em Brasília | 80 |

| | | |
|------------------|--|----|
| Figura 36 | Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros condutividade térmica e espessura do substrato seco em Brasília | 80 |
| Figura 37 | (a) resultados para refrigeração variando a condutividade térmica (λ) e (b) resultados para refrigeração variando a espessura do substrato (e) em Brasília..... | 81 |
| Figura 38 | Quantidades de casos para consumo relativo para refrigeração em São Luís..... | 84 |
| Figura 39 | Consumo relativo para refrigeração para as 1944 combinações paramétricas em São Luís | 85 |
| Figura 40 | Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros calor específico e densidade do substrato seco em São Luís. | 86 |
| Figura 41 | (a) resultados para refrigeração variando o calor específico (c) e (b) resultados para refrigeração variando a densidade do substrato (ρ) em São Luís..... | 87 |
| Figura 42 | Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros condutividade térmica e espessura do substrato seco em São Luís. | 87 |
| Figura 43 | (a) resultados para refrigeração variando a condutividade térmica do substrato (λ) e (b) resultados para refrigeração variando a espessura do substrato (e) em São Luís..... | 88 |
| Figura 44 | Coberturas verdes utilizadas..... | 91 |
| Figura 45 | Balanço térmico da cobertura verde | 91 |
| Figura 46 | Balanço térmico das coberturas tradicional e fria..... | 92 |
| Figura 47 | Balanço térmico anual da cobertura para a cidade de Porto Alegre..... | 93 |
| Figura 48 | Balanço térmico da cobertura verde para a cidade de Porto Alegre..... | 93 |
| Figura 49 | Evapotranspiração (mm) para a cidade de Porto Alegre | 96 |
| Figura 50 | Temperaturas superficiais externas para 21/12, Porto Alegre | 97 |
| Figura 51 | Temperaturas superficiais internas para o dia 21/12, Porto Alegre..... | 98 |
| Figura 52 | Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/12, Porto Alegre | 99 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Figura 53 | Temperaturas superficiais externas para 21/6, Porto Alegre | 100 |
| Figura 54 | Temperaturas superficiais internas para 21/6, Porto Alegre | 101 |
| Figura 55 | Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/6, Porto Alegre | 102 |
| Figura 56 | Balanço térmico da cobertura para a cidade de Brasília | 104 |
| Figura 57 | Balanço térmico da cobertura verde para a cidade de Brasília .. | 104 |
| Figura 58 | Evapotranspiração (mm) para a cidade de Brasília | 106 |
| Figura 59 | Temperaturas superficiais externas para 21/12, Brasília | 107 |
| Figura 60 | Temperaturas superficiais internas para 21/12, Brasília | 108 |
| Figura 61 | Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/12, Brasília | 109 |
| Figura 62 | Temperaturas superficiais externas para 21/6, Brasília | 110 |
| Figura 63 | Temperaturas superficiais internas para 21/6, Brasília | 111 |
| Figura 64 | Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/6, Brasília | 112 |
| Figura 65 | Balanço térmico da cobertura para a cidade de São Luís..... | 113 |
| Figura 66 | Balanço térmico da cobertura verde para a cidade de São Luís... .. | 114 |
| Figura 67 | Evapotranspiração (mm) para a cidade de São Luís | 115 |
| Figura 68 | Temperaturas superficiais externas para 21/12, São Luís | 116 |
| Figura 69 | Temperaturas superficiais internas para 21/12, São Luís | 117 |
| Figura 70 | Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/12, São Luís | 118 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabela 1 | Caracterização dos tipos de coberturas verdes | 18 |
| Tabela 2 | Parâmetros para configuração de cobertura verde no EnergyPlus..... | 25 |
| Tabela 3 | Demanda de energia para aquecimento, refrigeração e total | 27 |
| Tabela 4 | Temperatura do ar interno das coberturas..... | 28 |
| Tabela 5 | Comparação de ganho/perda de calor por m ² através de diferentes coberturas verdes em um dia típico..... | 37 |
| Tabela 6 | Composição e propriedades termofísicas de referência da envoltória para edificações sem tipologia definida..... | 39 |
| Tabela 7 | Valores de referência para ocupação e equipamentos para edificações sem tipologia definida..... | 40 |
| Tabela 8 | Valores de temperatura média do solo [°C] para as simulações..... | 41 |
| Tabela 9 | Parâmetros e níveis de variação..... | 44 |
| Tabela 10 | Composição dos substratos estudados | 45 |
| Tabela 11 | Propriedades térmicas das camadas adicionais | 45 |
| Tabela 12 | Composição e propriedades termofísicas de referência da envoltória | 49 |
| Tabela 13 | Abertura da janela e persiana do dormitório de solteiro no período de monitoramento..... | 50 |
| Tabela 14 | Variáveis de saída utilizadas para cobertura verde..... | 53 |
| Tabela 15 | Variáveis de saída utilizadas para coberturas de referência..... | 54 |
| Tabela 16 | Diferença absoluta da temperatura do substrato entre a simulação e dados de medição..... | 58 |
| Tabela 17 | Diferença absoluta da temperatura da vegetação entre a simulação e dados de medição..... | 58 |
| Tabela 18 | Raiz do Erro Quadrático Médio..... | 59 |
| Tabela 19 | Configurações dos parâmetros com menores e maiores valores de consumo relativo total para ar condicionado para Porto Alegre..... | 70 |
| Tabela 20 | Configurações dos parâmetros com menores valores de consumo relativo total para ar condicionado para Brasília..... | 82 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Tabela 21 | Configurações dos parâmetros com menores valores de consumo para ar condicionado para São Luís. | 89 |
| Tabela 22 | Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua).. | 132 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL | 16 |
| 1.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 | CLASSIFICAÇÃO DAS COBERTURAS VERDES | 17 |
| 2.2 | TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COBERTURAS VERDES | 19 |
| 2.2.1 | Cálculo Do Balanço Térmico Das Coberturas Verdes E Simulações Computacionais | 22 |
| 2.3 | BENEFÍCIOS DA COBERTURA VERDE | 26 |
| 2.3.1 | Benefícios Para o Ambiente Interno | 26 |
| 2.3.2 | Benefícios Para o Ambiente Externo | 29 |
| 2.4 | EFEITO DA TIPOLOGIA DE COBERTURAS VERDES NAS TROCAS TÉRMICAS | 33 |
| 3 | MÉTODO | 38 |
| 3.1 | CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO | 38 |
| 3.2 | CARACTERIZAÇÃO DOS CLIMAS | 41 |
| 3.3 | TIPOLOGIAS DE COBERTURA VERDE | 43 |
| 3.4 | VALIDAÇÃO DO MODELO DE COBERTURA VERDE | 46 |
| 3.4.1 | Descrição Do Modelo Para Validação | 47 |
| 3.5 | ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES | 51 |
| 3.5.1 | Análise Dos Benefícios Para o Ambiente Interno | 51 |
| 3.5.2 | Análise Dos Benefícios Para o Ambiente Externo | 52 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 56 |
| 4.1 | RESULTADO DA VALIDAÇÃO DA COBERTURA VERDE | 56 |
| 4.2 | ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS PARA O AMBIENTE INTERNO | 60 |
| 4.2.1 | Porto Alegre | 60 |
| 4.2.2 | Brasília | 71 |
| 4.2.3 | São Luís | 83 |
| 4.3 | BALANÇO ENERGÉTICO | 90 |
| 4.3.1 | Porto Alegre | 92 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.3.2 | Brasília..... | 103 |
| 4.3.3 | São Luís | 113 |
| 5 | CONCLUSÕES | 120 |
| 5.1 | LIMITAÇÕES DO TRABALHO..... | 122 |
| 5.2 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 122 |
| | APÊNDICE I | 131 |
| | APÊNDICE II | 132 |

1 INTRODUÇÃO

O aumento do número de edificações ao longo dos anos e as reduções de áreas verdes provocam grandes impactos no meio ambiente, sejam pelas alterações climáticas, ou pelo aumento do consumo de energia elétrica pelas edificações. No Brasil, entre 1991 e 2010, a população urbana cresceu cerca de 45% (IBGE 1991; IBGE 2010), aumentando também a demanda por energia. Em 2018 as edificações consumiram cerca de 42,6 % dos 636,4 TWh de energia elétrica disponibilizados para o país (BRASIL, 2019).

É comprovado que a urbanização - através da geometria, materiais de construção, aumento da população e redução da vegetação - interfere consideravelmente no microclima urbano, alterando temperatura do ar, umidade relativa, ventilação e qualidade do ar, afetando as condições internas e externas de conforto térmico e consumo de energia das edificações (CASTALDO et al., 2018; YANG et al., 2018). A alteração do microclima urbano mais documentada é o efeito de ilha de calor, que consiste na elevação da temperatura do ar nos centros urbanos causando aumento no consumo de energia para refrigeração dos edifícios, aumento nos problemas de poluição e concentração de ozônio, redução no conforto térmico no ambiente externo e aumento do estresse térmico da população com menos renda (WONG et al., 2003; KOLOKOTSA, SANTAMOURIS e ZEREFOS, 2013).

As coberturas constituem cerca de 20-25% das superfícies urbanas e devido à alta exposição à radiação solar, interferem de forma significativa no consumo de energia para refrigeração dos edifícios e no microclima urbano (GAGLIANO et al., 2015; YANG et al., 2018). A execução de estratégias passivas de eficiência energética em coberturas pode gerar economia de energia nos edifícios com ambientes refrigerados, melhorar as condições térmicas internas das edificações naturalmente ventiladas e auxiliar na redução do efeito da ilha de calor (GHISI, GHOSH E LAMBERTS, 2007; KOLOKOTSA, SANTAMOURIS e ZEREFOS, 2013; GANGULY, CHOWDHURY e NEOGI, 2016).

Estudos realizados na França, Grécia, Suécia, Itália, EUA e China (JAFFAL, OULDBOUKHITINE E BELARBI, 2011; GAGLIANO et al., 2014; LA ROCHE e BERARDI, 2014 HUANG, CHEN e TSAI, 2016;), demonstraram que a utilização de coberturas verdes possui grande potencial de redução de temperaturas internas dos ambientes, temperaturas superficiais, amplitude térmica no ambiente interno, fluxo

de calor para o ambiente interno e o consumo de energia para refrigeração e aquecimento.

Além disso, visando corroborar sobre os benefícios da utilização da cobertura verde, outros estudos investigaram o potencial de redução dos efeitos de ilha de calor. Diversos estudos demonstram o potencial das coberturas verdes de redução do efeito de ilha de calor urbana através das medições de temperatura do ar, e apresentaram reduções que atingem até 4,0°C, devido ao efeito de resfriamento causado pela evapotranspiração (WONG et al., 2003; SMITH e ROEBBER, 2011; OULDBOUKHITINE, BELARBI e SAILOR, 2013; BERARDI, 2016). Outros estudos utilizam a quantidade de calor sensível liberada pelas coberturas como métrica do potencial de redução do efeito de ilha de calor. Estudos realizados em Londres, Creta, Roma e Singapura, por meio de simulações computacionais, avaliaram as coberturas verdes e frias através da quantidade de calor sensível liberada, e verificaram que a cobertura fria obteve melhores resultados que a cobertura verde (KOLOKOTSA et al., 2013; YANG et al., 2018). Entretanto, observa-se nestes estudos, que a parcela referente ao calor latente não é contabilizada, de modo que o efeito de resfriamento causado pela evapotranspiração não é considerado.

No Brasil, a cobertura verde é associada à estratégia passiva de resfriamento evaporativo, sendo recomendada pela NBR 15.220/2005 apenas para as zonas bioclimáticas 4, 6 e 7. Porém, alguns estudos vêm sendo realizados para avaliar o desempenho da cobertura verde em outras regiões. Lopes (2007) encontrou menor amplitude térmica da temperatura superficial interna da laje sob a cobertura verde em São Carlos – SP. Parizotto e Lamberts (2011) verificaram que mesmo com a elevada umidade relativa em Florianópolis - SC, a cobertura verde apresentou bom desempenho reduzindo os ganhos e as perdas de calor durante o período quente e frio, respectivamente. Dias (2016) obteve reduções significativas no consumo de energia para climatização em Curitiba – PR. Krebs (2018) analisou o desempenho da cobertura verde para o ambiente interno e externo em Porto Alegre – RS. Os resultados mostraram que a especificação correta da cobertura verde pode reduzir até 98 e 39% os graus-hora de resfriamento e aquecimento, respectivamente. Para o ambiente externo, a utilização da cobertura verde apresentou uma pequena redução da temperatura do ar no nível do pedestre durante o verão.

Em geral, os estudos sobre a cobertura verde avaliam seu desempenho comparando com outros tipos de cobertura. Faltam estudos que analisem a interação

entre diversos parâmetros como a edificação, as cargas internas, a condição climática, a tipologia da cobertura verde e a sua influência no entorno. Nesse sentido, este trabalho visa investigar a inter-relação da tipologia da cobertura verde com as variações climáticas, a fim de explorar os reais benefícios da sua utilização. Com isso, espera-se contribuir com conhecimento sobre a cobertura verde abordando características necessárias para promover maiores níveis de desempenho.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é avaliar o potencial de diferentes tipologias de coberturas verdes em promover melhor desempenho termoenergético para a edificação e seus benefícios para o ambiente externo, a partir da análise de diferentes configurações em Porto Alegre – RS, Brasília – DF e São Luís - MA.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender o balanço energético de diferentes configurações de coberturas verdes em diferentes cidades brasileiras;
- Identificar a configuração de cobertura verde com melhor desempenho termoenergético em cada uma das três localidades;
- Determinar a tipologia de cobertura verde que apresenta maiores benefícios para o ambiente interno;
- Determinar a influência da cobertura verde no entorno.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS COBERTURAS VERDES

Encontra-se na literatura diferentes denominações para coberturas verdes, dentre elas telhado verde, teto verde, telhado jardim ou coberturas vivas. São coberturas que possuem sua superfície coberta com vegetação plantada sobre um substrato e podem conter camadas adicionais como: impermeabilizantes, drenagem de água e barreira contra raízes (LOPES, 2013; DIAS, 2016; ASCIONE, 2017). Os jardins suspensos da Babilônia são um grande exemplo da utilização de cobertura verde desde a antiguidade. Entre os séculos VIII e XI d.C a cobertura verde também passou a ser implementada no norte da Europa para proteger a edificação de intempéries e ventos. Na primeira metade do século XX, a cobertura verde tornou-se mais popular, sendo eleita por Le Corbusier como um dos cinco elementos que refletem a arquitetura moderna, nomeada como terraço jardim (ASCIONE, 2013; HE, YU, DONG, YE, 2016).

Coberturas verdes são comumente adotadas em muitos locais com clima quente e chuvoso, explorando ao máximo a propriedade de evapotranspiração sem a necessidade de implementar sistemas de irrigação com custos elevados (ASCIONE, 2017). Em geral, são classificadas em duas grandes categorias (GANGULY, CHOWDHURY e NEOGI, 2016; ASCIONE, 2017):

(a) coberturas verdes extensivas: apresentam finas camadas de substrato, inferiores a 10-15 cm, vegetação do tipo sedum ou outras espécies de suculentas, gramíneas ou herbáceas e contam com mínima necessidade de manutenção;

(b) coberturas verdes intensivas: conhecidas como jardins suspensos, possuem camadas espessas de substrato, mínimo de 20 cm, podendo sustentar diferentes tipos de plantas, assim, necessita de atenção para o dimensionamento da estrutura (Figura 1).

Figura 1 – (a) cobertura verde extensiva (b) cobertura verde intensiva

(a) Dezeen¹(b) Archiexpo²

A Tabela 1 apresenta o resumo das diferenças entre coberturas verdes extensivas e intensivas.

Tabela 1 – Caracterização dos tipos de coberturas verdes

| Principais atributos | Extensivo | Intensivo |
|------------------------|---|------------------------------------|
| Espessura do substrato | Menos de 20 cm | Mais de 20 cm |
| Peso da estrutura | 60-150 kg/m ² | Acima de 300 kg/m ² |
| Diversidade de plantas | Baixa (gramíneas, suculentas e herbáceas) | Alta (arbustos e pequenas árvores) |
| Altura da vegetação | 5-20 cm | Até 2 m |
| Construção | Moderadamente simples | Tecnicamente complexa |
| Irrigação | Comumente desnecessária ou periódica | Necessidade de irrigação regular |
| Manutenção | Simple | Complicada |
| Acessibilidade | Geralmente inacessíveis | Acessíveis (Áreas de uso comum) |
| Custo | Baixo/Médio | Alto |

Fonte: Dias (2016)

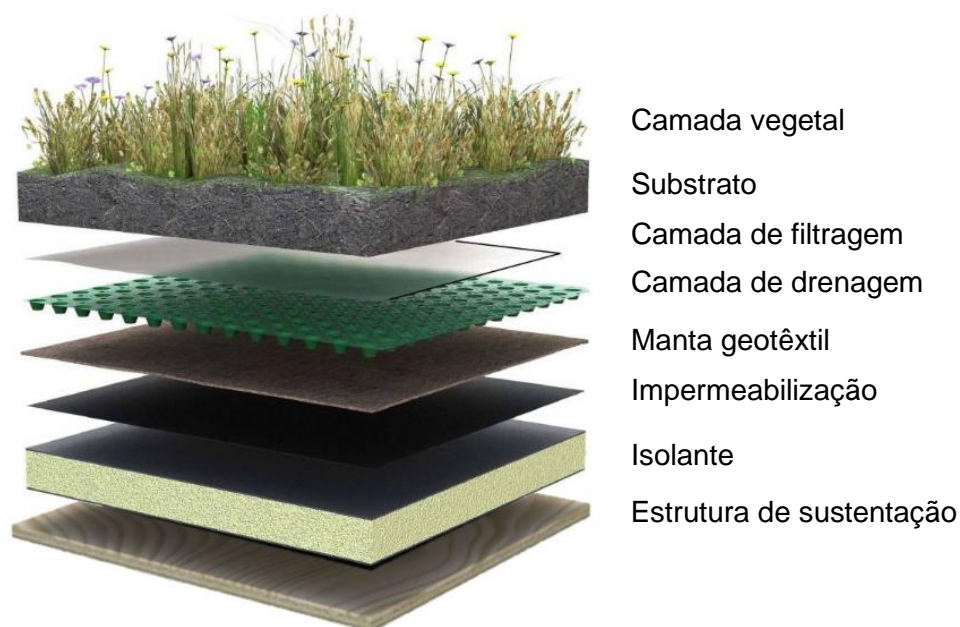
De acordo com Saadatian et al. (2013), as coberturas verdes são caracterizadas pela sucessão de camadas, sendo cinco fundamentais: a) laje de sustentação, b) membrana de impermeabilização, c) camada de drenagem, d)

¹ <https://www.dezeen.com/2018/05/27/monumental-grassy-roof-covers-planar-house-brazil-studio-mk27/>. Acesso em 18/07/2019

² <https://www.archiexpo.com/pt/prod/zinco-gmbh/product-66390-385012.html>. Acesso em 18/07/2019

substrato e e) vegetação; mas pode ser combinada com mais camadas como membranas contra raízes, isolantes térmicos, de modo que pode-se montar diferentes configurações, conforme Figura 2.

Figura 2 – Configuração de coberturas verdes



Fonte: Adaptada de Portal 44 Arquitetura³

Segundo Dias (2016), as classificações de coberturas verdes podem ser realizadas também de acordo com a implantação e método construtivo, sendo:

a) sistema pré-cultivado: as diferentes camadas, inclusive a vegetação, vêm dispostas em rolos, com a vegetação já desenvolvida ou que se desenvolverá após a implantação;

b) sistemas modulares: composto por módulos pré-fabricados que são transportados e instalados sobre a cobertura e

c) sistemas inteiros: também chamados de completos, em que toda a região vegetada possui uma só estrutura.

2.2 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COBERTURAS VERDES

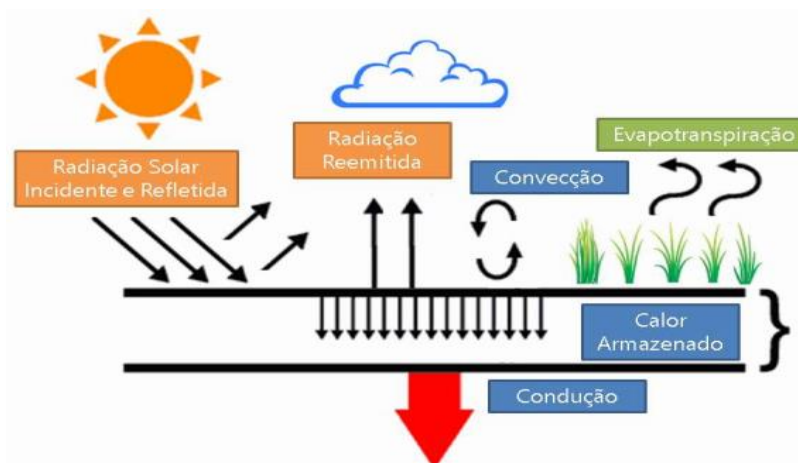
As trocas de calor para o interior e exterior da edificação acontecem de forma muito distinta nas coberturas verdes em relação às coberturas tradicionais e frias. A

³ <http://44arquitetura.com.br/2017/09/telhado-verde-como-construir/telhado-verde2/>. Acesso em 20/07/2019

cobertura fria se caracteriza pelo aumento do albedo, que aumenta a reflexão da radiação solar, reduzindo o fluxo de calor sensível na cobertura.

Já nas coberturas verdes, as cargas térmicas são reduzidas pela vegetação e substrato por meio de diferentes modos de transferência de calor e água (Figura 3). A vegetação absorve parte da radiação solar para suas funções metabólicas e o restante que atinge o substrato é absorvido, sendo que parte do calor retorna à atmosfera através da radiação e convecção e parte é transferido para o componente construtivo por condução. A presença da água afeta o balanço térmico através da evapotranspiração, processo de troca de calor latente, que combina a perda de água por evaporação (no substrato) e transpiração (na vegetação) (PARIZOTO e LAMBERTS, 2011; D'ORAZIO, DI PERNA E DI GIUSEPPE, 2012; SANTAMOURIS, 2014).

Figura 3 - Fluxo de calor na cobertura verde



Fonte: Dias (2016)

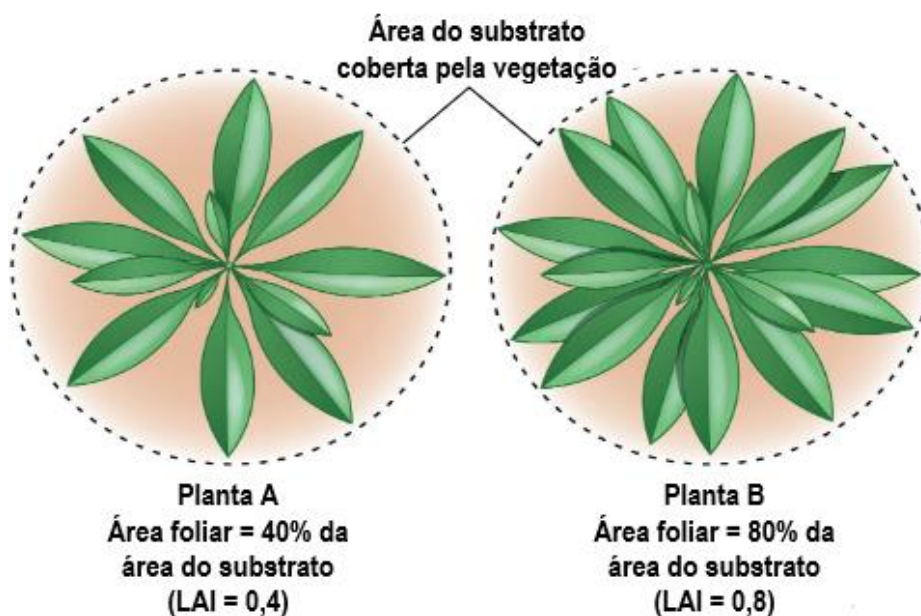
A camada vegetal, ao absorver parte da radiação solar para suas funções biológicas – respiração, transpiração, fotossíntese –, impede que o substrato fique exposto às condições climáticas do entorno, limitando suas trocas de calor com o ambiente externo e reduzindo a transferência de calor para o ambiente interno. Desta forma o edifício é protegido (WONG et al., 2003; PARIZOTO e LAMBERTS, 2011; D'ORAZIO, DI PERNA e DI GIUSEPPE, 2012; EKSIA et al., 2017; VERA et al., 2017).

Como parte fundamental do balanço térmico da cobertura verde, a escolha do tipo de vegetação deve ser adequada ao clima, já que fatores como umidade, precipitação, temperatura e radiação solar interferem na cobertura vegetal e no efeito de evapotranspiração. Dentre outros parâmetros que caracterizam a camada vegetal, o índice de área foliar (*Leaf Area Index – LAI*), cobertura fracional e a

resistência estomática são os que afetam diretamente o balanço energético da vegetação (GAGLIANO et al., 2015; FERRANTE et al., 2016).

O LAI representa a densidade foliar da vegetação através da relação entre a área das folhas da vegetação projetada sobre a área da superfície do substrato (Figura 4). Se a soma das áreas das superfícies das folhas for duas vezes maior que a área da cobertura verde, então o valor de LAI será 2. A cobertura fracional é a parcela do substrato sombreada pela vegetação e está relacionada com o valor de LAI, como pode ser observado na Equação 01 Quanto maior a cobertura fracional, maior será o sombreamento do substrato e, portanto, menor será a radiação solar incidente sobre este. A resistência estomática se refere à resistência da planta em perder umidade através dos estômatos, poros localizados na superfície das folhas, para determinada condição ambiental, sendo essa variável um parâmetro biofísico de cada planta. (SAILOR, 2008; GAGLIANO et al., 2015; DIAS, 2016).

Figura 4 - Índice de Área Foliar (LAI)



Fonte: Adaptado de Docplayer⁴

$$\sigma_f = 0.9 - 0.7 \exp - 0.75LAI \quad (1)$$

⁴ <https://docplayer.net/21637642-Chapter-36-resource-acquisition-transport-in-vascular-plants.html>. Acesso em 10/12/2019.

2.2.1 CÁLCULO DO BALANÇO TÉRMICO DAS COBERTURAS VERDES E SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Devido ao crescente interesse da comunidade científica em analisar o desempenho térmico e a transferência de calor pelas coberturas verdes, diversos modelos matemáticos foram desenvolvidos e incorporados a programas de simulação de carga térmica e de análise energética de edificações (MELO; WESTPHAL, MATOS, 2009; DIAS, 2016).

O *EnergyPlus* é um software de simulação energética de edificações mantido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América, que foi criado a partir da combinação de outros dois softwares, o BLAST e DOE-2. Seus principais recursos são intervalos de tempo de simulação menores que uma hora, condução de calor transiente através dos elementos construtivos, controles de iluminação natural, sistema modular, cálculo de infiltração de ar diferenciada para cada ambiente, cálculos de índice de conforto térmico e integração com sistemas como placas fotovoltaicas e aquecedores solares (SAILOR, 2008; MELO, WESTPHAL e MATOS, 2009).

De acordo com Melo, Westphal e Matos (2009), o programa possui diferenciais, como dados de entrada, saída e climáticos que incluem condições ambientais horárias ou sub horárias, relatórios padrões reajustáveis pelo usuário, cálculo de balanço de calor de janelas, modelo de conforto térmico e sistemas de condicionamento de ar configuráveis. Por se tratar de um software com sistema modular é possível configurar diversos módulos e o programa faz a integração para calcular a energia necessária para resfriar ou aquecer o edifício.

Sailor (2008) criou e incorporou ao *EnergyPlus* um modelo baseado nos fenômenos físicos que ocorrem na camada do substrato e vegetação para determinar o balanço energético da cobertura verde. Este modelo foi desenvolvido a partir dos estudos de Frankenstein e Koenig (FASST), criado para o corpo de engenheiros do exército dos EUA, para determinar a capacidade de suporte dos solos para veículos com e sem tripulação. Para isto, o modelo analisa o equilíbrio de energia e umidade no interior do solo com vegetação. Sailor (2008) realizou algumas alterações para adaptar o modelo aos solos mais finos e incorporou ao software.

O balanço energético é dividido em balanço energético da vegetação (equação 1) e do substrato (equação 2).

$$Q_v = \sigma_v [I_s(1 - \alpha_v) + \varepsilon_v I_{ir} - \varepsilon_v \sigma T_v^4] + \frac{\sigma_v \varepsilon_s \varepsilon_v \sigma}{\varepsilon_1} (T_s^4 - T_v^4) + H_v + L_v \quad (2)$$

$$Q_s = (1 - \sigma_v) [I_s(1 - \alpha_s) + \varepsilon_s I_{ir} - \varepsilon_s T_s^4] - \frac{\sigma_v \varepsilon_s \varepsilon_v \sigma}{\varepsilon_1} (T_s^4 - T_v^4) + H_s + L_s + K * \frac{\partial T_s}{\partial z} \quad (3)$$

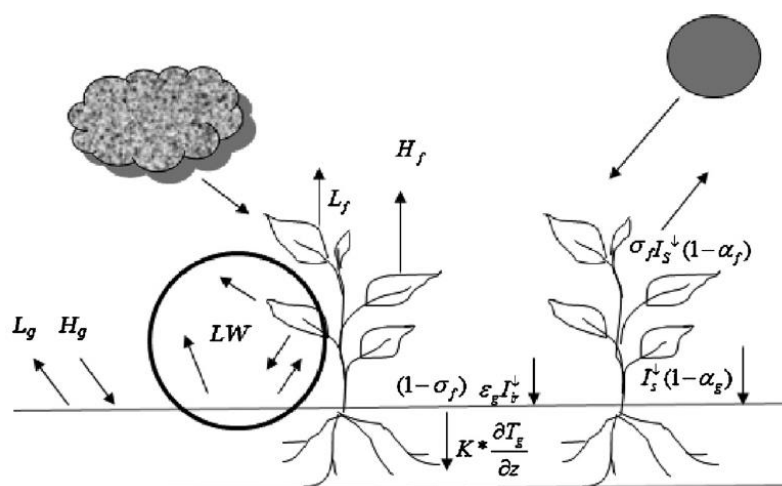
Sendo: Q_v o fluxo de calor da camada vegetal (W/m^2); Q_s o fluxo de calor da camada do substrato (W/m^2); σ_v é a cobertura fracional; I_s e I_{ir} são a radiações incidentes de onda curta (W/m^2) - radiação solar - e longa (W/m^2) - calor, respectivamente; α_v e α_s são as refletâncias solares da vegetação e substrato, respectivamente; ε_v e ε_s são as emissividades da vegetação e substrato; ε_1 é o fator relacionado a aproximação das trocas de calor por radiação entre a vegetação e o substrato; σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$); T_v e T_s são as temperaturas da vegetação e do substrato (K); H_v e H_s são os fluxos de calor sensível da vegetação e substrato (W/m^2); L_v e L_s são os fluxos de calor latente da vegetação e substrato (W/m^2); K é a condutividade térmica ($W/m.K$) e; z é a espessura ou profundidade (m).

O modelo consiste em uma camada homogênea de vegetação sobre o substrato e o balanço é regulado pela radiação solar que será equilibrada através dos fluxos de calor sensível (convecção) e latente (evapotranspiração) e radiação de onda longa a partir das superfícies foliares e do substrato (SAILOR, 2008; DOE, 2017). Os cálculos do fluxo de calor podem ser separados da seguinte forma:

- trocas na parcela da vegetação por radiação de onda longa entre a vegetação e o ambiente externo: $\varepsilon_v I_{ir} - \varepsilon_v \sigma T_v^4$; e entre a vegetação e o substrato: $\frac{\sigma_v \varepsilon_s \varepsilon_v \sigma}{\varepsilon_1} (T_s^4 - T_v^4)$; e por radiação de onda curta: $I_s(1 - \alpha_v)$;
- trocas no substrato por radiação de onda longa entre o substrato e o ambiente externo: $\varepsilon_s I_{ir} - \varepsilon_s T_s^4$; e entre o substrato e a vegetação: $\frac{\sigma_v \varepsilon_s \varepsilon_v \sigma}{\varepsilon_1} (T_s^4 - T_v^4)$; e por radiação de onda curta: $I_s(1 - \alpha_s)$;
- transferência de calor por convecção na vegetação e substrato: H_v e H_s ;
- evapotranspiração da vegetação e substrato: L_v e L_s ;
- condução e armazenamento de calor no substrato: $K * \frac{\partial T_s}{\partial z}$.

A Figura 5 expressa o balanço energético da cobertura verde: fluxo de calor latente (L), fluxo de calor sensível (H), radiação de onda curta (I_s), radiação de onda longa incidente (I_{lr}), radiação de onda longa trocada dentro da camada vegetal (LW) e condução no interior do substrato.

Figura 5 - Balanço energético da cobertura verde.



Fonte: Sailor (2008)

Assim como na camada vegetal, o fluxo de calor sensível no substrato também é regido pela diferença de temperatura e velocidade do vento. Já o fluxo de calor latente ocorre pela transferência de massa com a remoção da água da superfície do substrato por evaporação e pela vegetação por meio da transpiração. A evaporação depende da velocidade do vento, teor de umidade no ar e no substrato. A transpiração é regida pela resistência estomática, que depende da intensidade luminosa, umidade do solo e o diferencial de pressão de vapor entre o ar circundante e os estômatos. O usuário irá especificar os valores de albedo, condutividade térmica, calor específico e densidade para o substrato seco e o modelo irá atualizar esses dados de acordo com o teor de umidade do solo. Essas correções foram implementadas devido a observações feitas em laboratórios, onde Sailor (2008) verificou em oito amostras diferentes de solo que a difusividade e a condutividade variavam linearmente com o nível de saturação da umidade do solo. Em solos saturados o calor específico foi 40% maior.

O usuário pode utilizar um objeto de irrigação para programar as taxas de irrigação, com duas opções: programação padrão e inteligente. Este último irá desligar a irrigação nos períodos em que a umidade do substrato estiver acima de 30%.

No módulo “*ecoroo*” o usuário pode especificar a espessura e propriedades térmicas do substrato, e as características da vegetação, como pode ser observado na Tabela 2. Entretanto, as configurações da camada de drenagem e de impermeabilização devem ser feitas em outros campos, pois não está inserido no módulo da cobertura verde desenvolvido por Sailor (2008).

Tabela 2 - Parâmetros para configuração de cobertura verde no EnergyPlus

| Parâmetros de entrada de coberturas verdes do EnergyPlus | |
|---|---|
| Substrato | Vegetação |
| Rugosidade | Altura das plantas (m) |
| Espessura (m) | Índice de área foliar |
| Condutividade (W/m.K) | Refletância das folhas |
| Massa específica (kg/m ³) | Emissividade das folhas |
| Calor específico (J/kg.K) | Resistência estomática mínima (s/m) |
| Absortância térmica | |
| Absortância solar | |
| Absortância visível | |
| Conteúdo volumétrico saturado de umidade | |
| Conteúdo volumétrico residual de umidade | |
| Conteúdo volumétrico inicial de umidade | |
| Método de cálculo da difusão da umidade no solo | |

Fonte: adaptado de Dias (2016)

Sailor (2008) conclui que o modelo incorporado ao *EnergyPlus* representa um avanço significativo para simulação do desempenho energético de coberturas verdes, permitindo que sejam exploradas as implicações da sua utilização nos edifícios por meio de estimativas quantitativas da economia de energia. O

modelo pode receber melhorias, segundo o próprio autor, como a utilização de mais de uma cobertura verde por simulação e de mais de um tipo de cobertura verde em uma mesma laje. A capacidade de modelar variações rápidas nas propriedades térmicas dos substratos associadas à irrigação ou chuvas intensas, por exemplo, e o aprimoramento dos esquemas de controle da irrigação inteligentes.

2.3 BENEFÍCIOS DA COBERTURA VERDE

As trocas de calor sensível (condução, convecção e radiação) e latente (evapotranspiração) pela vegetação e substrato nas coberturas verdes reduzem não somente o fluxo de calor para o interior da edificação, mas também a quantidade de calor liberado para a atmosfera. Com isso, obtém-se temperaturas superficiais menores que nas coberturas tradicionais e aumenta a umidade do ar, adicionando o efeito de resfriamento no ambiente externo. Estes benefícios são apontados pela literatura como responsáveis pelo potencial de redução dos efeitos de ilha de calor (WONG et al., 2003; BEVILACQUA et al., 2017).

Assim, definem-se dois enfoques para discussão das pesquisas relacionadas com o emprego da cobertura verde, sendo eles: os benefícios associados ao ambiente interno; e os benefícios associados ao ambiente externo, direcionados à redução dos efeitos de ilha de calor.

2.3.1 Benefícios para o Ambiente Interno

A cobertura verde se destaca em diversos estudos como uma estratégia passiva de eficiência energética capaz de reduzir o fluxo de calor para o interior da edificação e o consumo de energia com aquecimento e refrigeração por meio de trocas de calor sensível e latente (PARIZOTO e LAMBERTS, 2011; OULDBOUKHITINE, BELARBI, SAILOR, 2013; SAADATIAN et al., 2013; GAGLIANO et al., 2015; GANGULY, CHOWDHURY, NEOGI, 2016).

Parizotto e Lamberts (2011) realizaram um monitoramento térmico de uma edificação residencial em Florianópolis - SC, e analisaram a influência da cobertura verde na transferência de calor para o ambiente interno, comparando os resultados com coberturas de telha cerâmica, metálica e laje de concreto. No período quente, a cobertura verde apresentou redução de 92 e 97% na transferência de calor para dentro da edificação em relação aos telhados cerâmicos e metálicos, respectivamente. Durante o período frio, apesar do ganho de calor pela cobertura

verde ser reduzido em 70 e 84%, a perda de calor do ambiente interno também foi reduzida em 44 e 52% em comparação com os telhados cerâmicos e metálicos, respectivamente, evidenciando o melhor desempenho da cobertura verde tanto no verão quanto no inverno. O estudo de Jaffal, Ouldboukhitine e Belarbi (2011) corrobora com o desempenho superior da cobertura verde em relação à cobertura tradicional em laje impermeabilizada. Os autores estudaram o desempenho da cobertura verde através das demandas de energia anuais para refrigeração, aquecimento e total em La Rochelle (França), Atenas (Grécia) e Estocolmo (Suécia). Na Tabela 3, pode-se comparar as demandas de energia nas três localizações.

Tabela 3 - Demanda de energia para aquecimento, refrigeração e total

| Cidade | Demanda de energia aquecimento (kWh/m ² ano) | | Demanda de energia refrigeração (kWh/m ² ano) | | Demanda de energia total (kWh/m ² ano) | |
|-----------|---|-----------------|--|-------------------|---|-----------------|
| | Cobertura tradicional | Cobertura verde | Cobertura tradicional | Cobertura a verde | Cobertura tradicional | Cobertura verde |
| | La Rochelle | 36,0 | 36,1 | 2,5 | 0,1 | 38,5 |
| Atenas | 14,1 | 15,2 | 26,4 | 12,5 | 40,5 | 27,7 |
| Estocolmo | 131,0 | 120,3 | 0,0 | 0,0 | 131,0 | 120,3 |

Fonte: Adaptado de Jaffal, Ouldboukhitine e Belarbi (2011)

Para a cidade de La Rochelle, a demanda por refrigeração reduziu de 2,5 kWh/m²ano para 0,1 kWh/m²ano, um valor pequeno, mas que representa 96% de redução. Em Atenas a cobertura verde reduziu 52% da demanda de energia por refrigeração, e aumentou a de aquecimento, porém no balanço final de consumo de energia a economia gerada pela cobertura verde foi de 32% em relação à cobertura tradicional. Para a cidade de Estocolmo, a cobertura verde não interferiu na demanda de energia para refrigeração, pois é uma cidade fria, mas reduziu 8% da demanda de energia para aquecimento.

É possível verificar por meio destes estudos a redução da transferência de calor através da cobertura verde e as diferenças no desempenho da cobertura verde devido às diferentes localizações. Dias (2016) realizou simulações computacionais comparando o desempenho térmico da cobertura verde, cobertura de fibrocimento e cobertura fria de fibrocimento em três cidades brasileiras, Belém-PA, Brasília-DF e Curitiba-PR. Para verificar a interferência climática, o autor modelou uma única zona térmica com paredes e piso adiabáticos, para que a troca de calor ocorresse somente através da cobertura. Para a cidade de Belém-PA, a carga térmica de refrigeração

foi reduzida em 83% para cobertura verde e 79% para cobertura fria em relação à cobertura de fibrocimento. Para a cidade de Brasília-DF, a cobertura verde reduziu 95% das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento em relação à cobertura de fibrocimento e 91% em relação à cobertura fria. Em Curitiba-PR, a economia resultante da redução de cargas térmicas pela cobertura verde tanto para aquecimento quanto para refrigeração foi de 89% e 90% em relação às coberturas de fibrocimento e fria, respectivamente.

Lopes (2007), em seu estudo em São Carlos – SP, também compara o desempenho térmico entre diferentes coberturas (laje pré-moldada, aço galvanizado, telha cerâmica, telha de fibrocimento) e cobertura verde extensiva (grama esmeralda) e verifica que a cobertura verde apresentou temperaturas superficiais internas menores e menor amplitude térmica. Com relação à temperatura do ar interno, a cobertura verde teve o melhor desempenho com menor amplitude térmica (Tabela 4). Os resultados de Carvalho (2018) em células de teste também mostraram reduções significativas na temperatura interna na cobertura verde em relação à laje no período quente, e no inverno a cobertura verde foi capaz de manter as temperaturas em valores mais próximos às zonas de conforto em Sorocaba – SP.

Tabela 4 - Temperatura do ar interno das coberturas

| Cobertura | Temperatura do ar interno (°C) | | Amplitude térmica (°C) |
|------------------|--------------------------------|--------|------------------------|
| | Máxima | Mínima | |
| Aço Galvanizado | 33,7 | 13,6 | 20,1 |
| Fibrocimento | 31,0 | 14,4 | 16,6 |
| Laje de concreto | 32,4 | 15,0 | 17,4 |
| Cerâmica | 28,7 | 15,0 | 13,7 |
| Cobertura verde | 28,8 | 16,2 | 12,6 |

Fonte: Lopes (2007)

D’Orazio, Di Perna e Di Giuseppe (2012) realizaram um experimento em Ancona – Itália comparando o desempenho térmico da cobertura verde, cobertura de cobre e telha cerâmica em uma edificação com isolamento de 12 cm sob a cobertura. Os resultados obtidos no período de verão, mostraram que enquanto nas coberturas de cobre e cerâmica os fluxos de calor ocorriam para o interior da edificação, para a cobertura verde o fluxo de calor durante o dia se direcionava para fora da edificação e era evidenciado após o evento de irrigação, devido ao efeito de evapotranspiração.

No período de inverno, o fluxo de calor que saía da edificação foi semelhante para todos os telhados. Os autores destacam o desempenho superior da cobertura verde durante o verão, com redução das temperaturas da superfície e sua amplitude diária tanto na superfície do substrato, devido ao sombreamento da vegetação e a evapotranspiração, quanto no interior da laje de sustentação, devido ao efeito de isolamento do substrato. Entretanto, os autores chamam atenção que em valores absolutos, as diferenças entre os sistemas não foram tão expressivas devido à camada de isolamento. Nichou et al. (2001) realizaram experimentos na Grécia e observaram que a presença de isolamento sob a cobertura verde prejudicou a economia de energia em relação à cobertura verde sem isolamento em 36 e 45% para aquecimento e refrigeração, respectivamente. Gagliano et al. (2015) também analisaram a interferência de isolantes sob a cobertura verde, cobertura fria e laje e, ao contrário dos resultados de D’Orazio, Di Perna e Di Giuseppe (2012), o estudo mostra que a cobertura verde extensiva moderadamente isolada é a melhor proposta para reduzir a demanda de energia para refrigeração no clima mediterrâneo.

2.3.2 Benefícios para o Ambiente Externo

A Ilha de Calor Urbana, referenciada neste estudo com a sigla ICU, trata-se de um fenômeno relacionado à alteração do microclima urbano. É caracterizada pela elevação da temperatura do ar, redução da umidade relativa do ar e alteração na velocidade dos ventos e regime de chuvas em relação às áreas rurais ou áreas com a paisagem natural preservada.

Este fenômeno é decorrente do adensamento urbano e redução das áreas verdes. O adensamento urbano cria barreiras para os ventos e aumenta o albedo das superfícies, causando o aprisionamento do ar no meio urbano, o aumento da absorção de calor pelas superfícies e, conseqüentemente, a elevação da temperatura do ar. A redução das áreas verdes diminui a evapotranspiração, sendo este fenômeno capaz de reduzir a temperatura do ar através da umidade liberada pela vegetação e solo (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003; CHEN et al., 2009; KARACHALIOU, SANTAMOURIS E PANGALOU, 2016; ROMERO et al., 2019).

Romero et al. (2019) destacam que a ICU é mais evidente durante o período noturno com ar calmo e sem nuvens, quando o calor absorvido durante o dia pelas edificações é liberado para o ambiente externo devido à redução da temperatura do ar.

Além da combinação da paisagem natural com a ocupação e geometria urbana, há cinco fatores independentes que contribuem para a intensidade da ICU, segundo Romero et al. (2019):

- a) A menor taxa de resfriamento durante as noites nas áreas urbanas em relação à área rural;
- b) Absorção e armazenamento de calor pela massa das edificações durante o dia e liberação para a atmosfera à noite;
- c) Calor gerado pelas atividades que ocorrem na área urbana;
- d) Menor evaporação proveniente do solo e vegetação;
- e) Calor cedido para a atmosfera proveniente de fontes de calor estacionais – calefação no inverno e ar condicionado no verão.

O prejuízo da qualidade do ar, aumento da temperatura do ar urbano, redução do conforto térmico e aumento no consumo de energia com refrigeração, são consequências que impulsionam a busca por estratégias que possam melhorar as condições do ambiente externo, reduzindo o impacto das fontes de calor e elevando o potencial de dissipadores de calor nas cidades (KARACHALIOU, SANTAMOURIS E PANGALOU, 2016).

De acordo com Berardi (2016), diante do limitado espaço no solo nas cidades, as coberturas das edificações oferecem espaços consideráveis para execução dessas estratégias. Dentre elas, pode-se citar o emprego da cobertura fria e a cobertura verde. Para entender como se pode melhorar o ambiente externo com o emprego de estratégias na cobertura, faz-se necessário a compreensão dos fluxos de calor das superfícies, segundo Yang et al. (2018). A radiação líquida pode ser definida através da equação 3:

$$Q_{rad} + Q_f = Q_s + Q_l + \Delta Q_{cd} + \Delta Q_a \quad (3)$$

Onde Q_s , Q_l e ΔQ_{cd} são os fluxos de calor sensível, latente e armazenado/conduzido, respectivamente. Q_f é o calor antropogênico, com alto grau de dificuldade de cálculo, pois depende do consumo de energia dos transportes e edificações. ΔQ_a é o fluxo de calor líquido por advecção horizontal, entretanto não é considerado por apresentar valores próximos a zero.

Enquanto a redução da radiação líquida Q_{rad} ocorre na cobertura fria pela redução do fluxo de calor sensível devido ao valor elevado do albedo, na cobertura verde há a combinação dos fluxos de calor latente, armazenado e sensível. A perda

do calor latente acontece através do fenômeno de evapotranspiração, que aumenta a umidade no ar e causa o efeito de resfriamento (DIMOUDI e NIKOLOPOULOU, 2003; KARACHALIOU, SANTAMOURIS E PANGALOU, 2016; YANG et al., 2018; ROMERO et al., 2019).

Segundo Santamouris (2014), são utilizadas duas formas de avaliar o potencial de redução dos efeitos de ilha de calor: direta e indireta. A avaliação direta ocorre através da medição ou cálculo da temperatura da superfície e/ou o cálculo da redução do fluxo de calor sensível a partir da superfície do telhado. Porém, com relação às coberturas verdes, é preciso contabilizar também o calor latente liberado para determinar seu potencial de redução do efeito de ilha de calor. Já a avaliação indireta se dá pela determinação do desempenho energético ou melhoria na condição de conforto térmico no ambiente interno. Entretanto o autor ressalta que é preciso atenção quanto à avaliação indireta, pois nem sempre o potencial de redução dos efeitos de ilha de calor irá corresponder às reduções das necessidades de refrigeração.

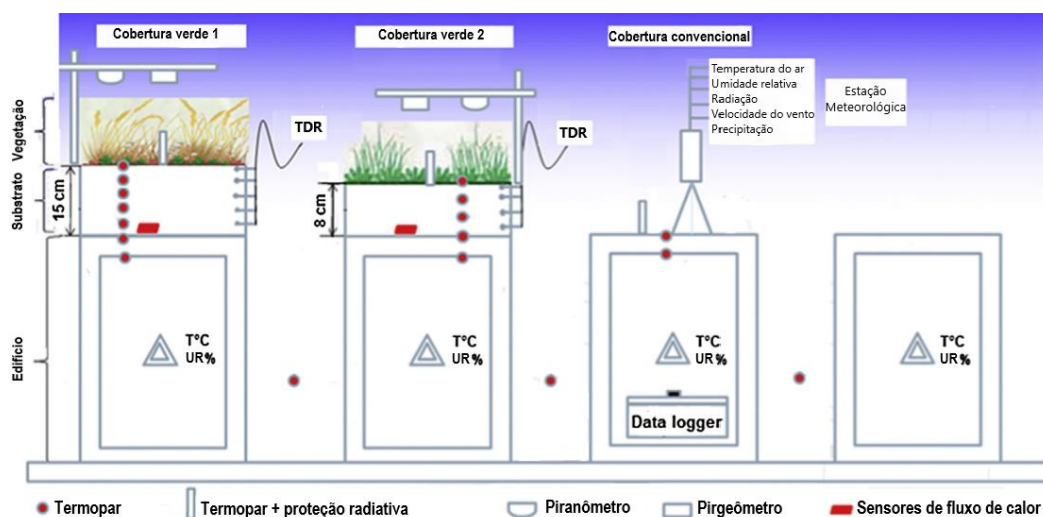
Diversas variáveis interferem no potencial de redução dos efeitos de ilha de calor, são elas variáveis climatológicas (radiação solar, temperatura, velocidade do vento, umidade relativa, precipitação), variáveis ópticas (albedo, emissividade), variáveis térmicas (capacidade térmica, transmitância térmica) e variáveis hidrológicas (substrato, evapotranspiração) (CHEN et al., 2009; SANTAMOURIS, 2014; BERARDI, 2016).

Smith e Roebber (2011) realizaram simulações para analisar o impacto da cobertura verde nas temperaturas do ar no meio urbano de Chicago, na região central e na região próxima ao Lago Michigan. Para simular o efeito da cobertura verde foram utilizados dois modelos. Em um foi criado um valor de albedo equivalente, no valor de 0,8 que inclui o efeito de resfriamento evaporativo e reflexão de onda longa da vegetação. O outro modelo, reduz o valor do albedo para 0,18 e aumenta a disponibilidade de umidade da cobertura para 0,25. No primeiro modelo as temperaturas do ar reduziram entre 2°C e 3°C entre as 19h e 23h. No segundo modelo, o efeito de resfriamento foi um pouco menor em relação ao primeiro, com uma redução máxima de 1°C. Os autores atribuem essa diferença principalmente, ao aumento de umidade atmosférica que limita o efeito de resfriamento.

No estudo de Ouldboukhitine, Belarbi e Sailor (2013) foi realizada uma comparação entre a cobertura verde e laje de concreto utilizando um modelo de

espaço urbano em escala reduzida (1:10). O modelo foi composto por 15 edifícios dispostos em 5 fileiras formando 4 vales urbanos equipados com sensores de temperatura do ar, da superfície e do substrato (Figura 6). Observou-se que os edifícios com cobertura verde apresentaram a redução máxima de 20°C da temperatura superficial do substrato em relação à cobertura tradicional de concreto e redução da temperatura média do ar externo em 0,8°C. O pico diário de temperatura do ar ao nível da rua externo aos edifícios com telhado verde foi reduzido em 1°C em comparação com o pico de temperatura diário da rua de referência. Os autores atribuem essas reduções à evapotranspiração, pois parte das radiações incidentes são absorvidas pela vegetação que reduz a parcela de radiação incidente aprisionada no vale urbano. Berardi (2016) simulou a alteração da cobertura de laje por uma cobertura verde em Toronto e alcançou reduções na temperatura do ar externo no nível do pedestre entre 0,4°C e 0,7°C de acordo com o tipo de vegetação, enquanto no nível da cobertura as reduções foram de 0,4°C e 0,8°C durante o dia e 1,1°C e 2,0°C durante a noite. Wong et al. (2003) também obteve reduções na temperatura do ar em seu experimento da ordem de 4,2°C a 30 cm acima da vegetação.

Figura 6 - Esquema do experimento e posição dos sensores



Fonte: Adaptado de Ouldboukhitine, Belarbi e Sailor (2013)

Karachaliou, Santamouris e Pangalou (2016) ressaltam o potencial de redução do aquecimento urbano das coberturas verdes, devido redução da temperatura superficial do telhado, reduzindo também a liberação de calor sensível na atmosfera. Os autores realizaram medições em uma cobertura verde de 10.000 m² em um

edifício em Atenas e verificaram que a temperatura superficial da cobertura verde é considerada até 15°C mais baixa que a de uma cobertura tradicional com cerâmica.

Os estudos de Smith e Roebber (2011), Ouldboukhidine, Belarbi e Sailor (2013) e Berardi (2016) corroboram com as conclusões do estudo de Wong et al. (2003) que demonstram o efeito de resfriamento atingindo reduções máximas da temperatura do ar de 4,2°C no período noturno.

Chen et al. (2009) estudaram o efeito da vegetação nas superfícies urbanas através de simulações em diferentes blocos urbanos de Tóquio. Os autores verificaram que a utilização de coberturas permeáveis e vegetação ao nível do solo reduz a temperatura do ar consideravelmente, devido ao efeito de resfriamento pela evaporação da umidade e sombreamento. Entretanto, assim como nos estudos de Wong et al. (2003) e Berardi (2016), foi observado que a implantação da cobertura verde não apresentou efeito tangível na temperatura do ar ao nível do pedestre, devido ao alto fluxo de calor liberado pelo tráfego e ar condicionado e à redução dos ventos devido à geometria do bairro, mostrando o efeito da cobertura verde é limitado em edificações altas.

2.4 EFEITO DA TIPOLOGIA DE COBERTURAS VERDES NAS TROCAS TÉRMICAS

A combinação de diferentes elementos que podem compor uma cobertura verde, o clima e a manutenção interferem no seu desempenho térmico (BEVILACQUA et al., 2015; DIAS, 2016; ASCIONE et al., 2017; CHAGOLLA-ARANDA et al., 2017). Desta forma, diversos estudos são realizados para compreender as influências de cada característica da cobertura verde em seu desempenho térmico, bem como fatores externos, como as condições climáticas e manutenção.

Jaffal, Ouldboukhidine e Belarbi (2011) comprovaram através de dados de temperaturas superficiais que a vegetação limita a transferência de calor entre o substrato e o ar por ser a camada mais exposta e impulsiona a evapotranspiração, aumentando a perda de calor pela cobertura. Bevilacqua et al. (2015) exploraram a influência da camada vegetal no desempenho térmico de uma cobertura verde com plantas da espécie *Sedum sp*, em um prédio de escritórios em Lleida na Espanha e observaram que com o aumento da cobertura vegetal de 10% (no ano de 2010) para 80% (no ano de 2012), os picos de temperatura e amplitude térmica do substrato a 2 cm de profundidade foram menores e reduções na amplitude térmica de até 8,5°C.

Huang, Chen e Liu (2018) demonstraram que sem a vegetação, a amplitude térmica no substrato foi 16,45% maior.

Karachaliou, Santamouris e Pangalou (2016) demonstraram por meio de dados medidos que a temperatura superficial da vegetação sofre influência da absorção solar de cada espécie de planta e da densidade de folhas da vegetação. Áreas plantadas com espécies de folhagem densa apresentou temperatura superficial diária variando entre 23 e 29°C, enquanto nas áreas com vegetação menos densa a variação ficou entre 28 e 36°C.

Eksi et al. (2017) realizou experimentos com coberturas verdes em East Lansing, no Michigan, onde os tipos de vegetação e profundidade do substrato foram variados. Em contraste com os resultados de Wong et al. (2003) e Jaffal, Ouldboukhitine e Belarbi (2011), os autores verificaram que a cobertura com substrato mais raso e plantas do tipo sedum, caracterizadas pela menor densidade foliar, superou o desempenho da cobertura com substrato mais espesso e plantas do tipo herbáceas, no período do verão. Enquanto a cobertura verde de herbáceas transferiu cerca de 432 W/m² de calor para o interior do edifício, a cobertura de plantas do tipo sedum transferiu 1136 W/m² de calor para fora do edifício, apresentando benefícios maiores, contrariando a lógica que plantas com maior potencial de evapotranspiração são superiores. Os autores explicam os resultados devido à rápida saturação do substrato mais raso durante um evento de chuva e conseqüentemente, a secagem rápida por evapotranspiração. Já a cobertura com herbáceas apresenta maior estabilidade do fluxo de calor e das flutuações de temperatura devido ao seu substrato de maior profundidade e à sombra proporcionada pela vegetação. Os autores salientam que esta é uma característica vantajosa para o período de inverno, entretanto para o verão não é interessante.

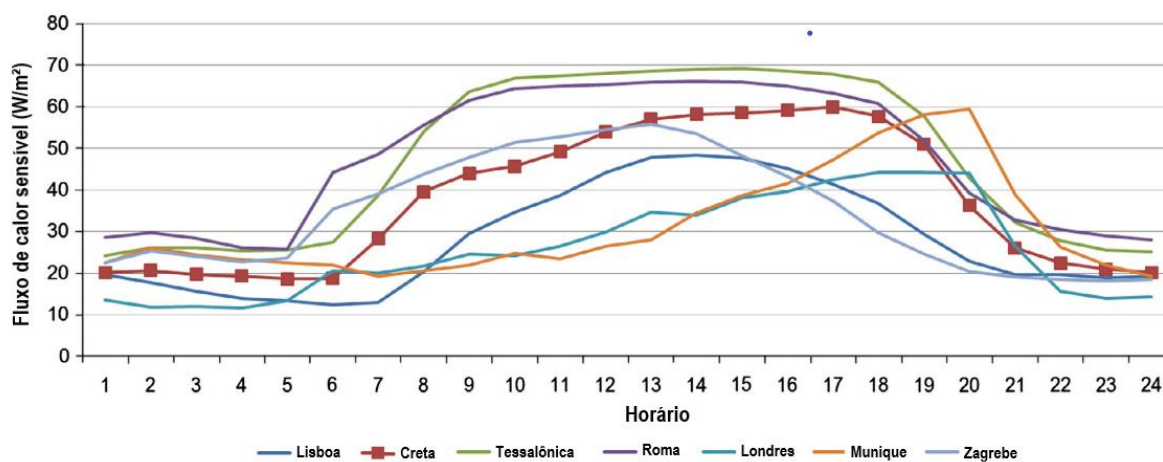
No substrato, as trocas de calor sensível acontecem por condução e armazenamento de calor, pois ocorre a adição da propriedade de massa térmica e a quantidade de água contida no seu interior eleva a inércia térmica (JAFFAL, OULDBOUKHITINE e BELARBI, 2011; D'ORAZIO, DI PERNA e DI GIUSEPPE, 2012; BEVILACQUA et al., 2015; HE et al., 2016; HUANG, CHEN, LIU, 2018). A evaporação no substrato vai depender do teor de umidade contida no seu interior, da quantidade de poros, da temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do entorno (SAILOR, 2008; GAGLIANO et al., 2015; VERA et al., 2017).

Vera et al. (2017) realizam simulações para os climas de Santiago (Chile), Albuquerque (EUA) e Melbourne (Austrália) e mostram que a alteração do tipo de vegetação pode aumentar ou reduzir a carga de aquecimento dependendo do clima em que está localizada a cobertura e do tipo substrato. As cargas de aquecimento foram mais afetadas com a alteração do substrato de leve para pesado, alcançando valores até 82% maiores em relação ao substrato leve. A alteração no índice LAI também apresentam resultados diferentes para cada localização nas cargas de aquecimento, entretanto a mesma tendência de redução de carga de refrigeração é observada nas três cidades quando a densidade foliar é aumentada.

Coma et al. (2017) avaliaram as propriedades térmicas de cinco composições diferentes de substratos secos através de um experimento em laboratório. Em acordo com o trabalho de Vera et al. (2017), os autores constataram maior transmitância térmica (U) nas amostras mais pesadas, com valores entre 2,63 e 2,59 W/m²K; enquanto as amostras leves obtiveram valor de U de até 1,90 W/m²K. Com relação à capacidade térmica, as amostras com menores valores de conteúdo orgânico foram as que alcançaram maiores capacidades de armazenamento, até 5865 J de energia, enquanto as amostras com mais material orgânico em sua composição armazenaram entre 4446 e 5000 J de energia. Cascone et al. (2018) estudaram diferentes composições de substratos com espessura de 10 cm e camada de drenagem através de simulações computacionais e os resultados mostraram que as temperaturas superficiais internas e externas não foram afetadas significativamente pela composição do substrato e drenagem, mas pela camada vegetal. Entretanto, os autores identificaram que é possível obter maior economia de energia com aquecimento e refrigeração através da combinação correta de drenagem – substrato – vegetação. A redução no consumo de energia para refrigeração no verão ficou entre 31 e 35% e para aquecimento no inverno foi entre 1 e 9%.

Kolokotsa et al. (2013) também analisou a relação entre o calor sensível liberado pela cobertura verde, os valores do LAI e a irrigação para diferentes climas. Seus resultados corroboram com o estudo de Yang et al. (2018) que o aumento de LAI reduz o calor sensível liberado para a atmosfera e a irrigação reduz mais ainda entre 20-25% em Creta. Os autores simularam o potencial de redução dos efeitos de ilha de calor de uma cobertura verde com LAI = 1 sem irrigação para outros climas. A Figura 7 evidencia a interferência das variações climáticas no desempenho das coberturas verdes, conforme mencionado em Santamouris (2014).

Figura 7 - Fluxo de calor sensível liberado pela cobertura verde em cidades diferentes



Fonte: Adaptado de Kolokotsa et al. (2013)

Yang et al. (2018) analisou o potencial de redução da ICU de coberturas verdes e frias através de suas temperaturas superficiais e fluxo de calor liberado para a atmosfera em Cingapura. Com relação à composição da cobertura verde, verificou-se que redução da radiação líquida foi menor para solos rasos e baixo valor de LAI, evidenciando que a escolha do tipo de cobertura interfere no seu potencial de redução da ICU. Os autores compararam o fluxo de calor sensível liberado pela cobertura fria e cobertura verde e verificaram que para o dia típico de verão ambas as coberturas atingiram valores negativos. O fluxo de calor sensível da cobertura verde foi de $-546,8 \text{ W/m}^2$, enquanto da cobertura fria foi de $-646,8 \text{ W/m}^2$. Portanto, o calor sensível liberado pela cobertura verde foi cerca de 15% maior em relação à cobertura fria.

Wong et al. (2003) compararam a transferência de calor através da laje exposta à radiação solar, da cobertura somente com o substrato e da cobertura verde com diferentes espécies de plantas, alterando os valores de LAI em Cingapura. Os autores verificaram que a presença da vegetação forneceu a redução máxima da temperatura superficial de até 30°C . Pode-se verificar na Tabela 5 que com o emprego do substrato de 400 mm de espessura, o ganho de calor reduziu cerca de 76% em relação à laje. Ao adicionar os diferentes tipos de vegetação, o ganho de calor foi reduzindo conforme o LAI foi aumentado, chegando à vegetação mais densa (arbusto) sem ganho de calor pela cobertura.

Tabela 5 - Comparação de ganho/perda de calor por m^2 através de diferentes coberturas verdes em um dia típico

| Tipo de cobertura | Ganho de calor total/m² ao longo do dia | Perda de calor total/m² ao longo do dia |
|---------------------------|---|---|
| Laje | 366,3 kJ/m ² | 4,2 kJ/m ² |
| Substrato sem vegetação | 86,6 kJ/m ² | 58,0 kJ/m ² |
| Ophiopogon (gramado) | 29,2 kJ/m ² | 62,1 kJ/m ² |
| Erythrina (árvore) | 15,6 kJ/m ² | 53,3 kJ/m ² |
| Palmeira raphis (arbusto) | 0 kJ/m ² | 104,2 kJ/m ² |

Fonte: Wong et al. (2003)

O estudo de Morais (2004) em São Carlos – SP mostra o melhor desempenho da cobertura verde extensiva em relação à laje de concreto em uma edificação protótipo. A autora demonstra que durante o verão as temperaturas internas sob a cobertura verde foram menores que a laje, atingindo diferenças de até 5,1°C durante o dia. No período de inverno as diferenças não foram significativas, pois a edificação sofre grande influência do ar externo devido aos elementos vazados.

De um modo geral, os estudos demonstram que a cobertura verde possui grande potencial de melhoria no desempenho térmico das edificações, redução no consumo de energia e promovem benefícios para o ambiente externo que auxiliam na redução do efeito da ICU. Diversos trabalhos focaram na compreensão do balanço energético das coberturas verdes com resultados para o ambiente interno e para o ambiente externo e demonstraram como a variação de cada componente interfere de modo significativo nas trocas de calor. Estas conclusões aliadas aos resultados encontrados em diferentes climas demonstram a importância da escolha adequada da composição e tipologia da cobertura verde em relação às condições climáticas que estarão submetidas. No Brasil, os estudos demonstraram o desempenho satisfatório das coberturas verdes, entretanto há uma carência de estudos que explorem a relação entre a tipologia da cobertura verde e o clima para alcançar os maiores benefícios tanto para o ambiente interno quanto para o ambiente externo.

3 MÉTODO

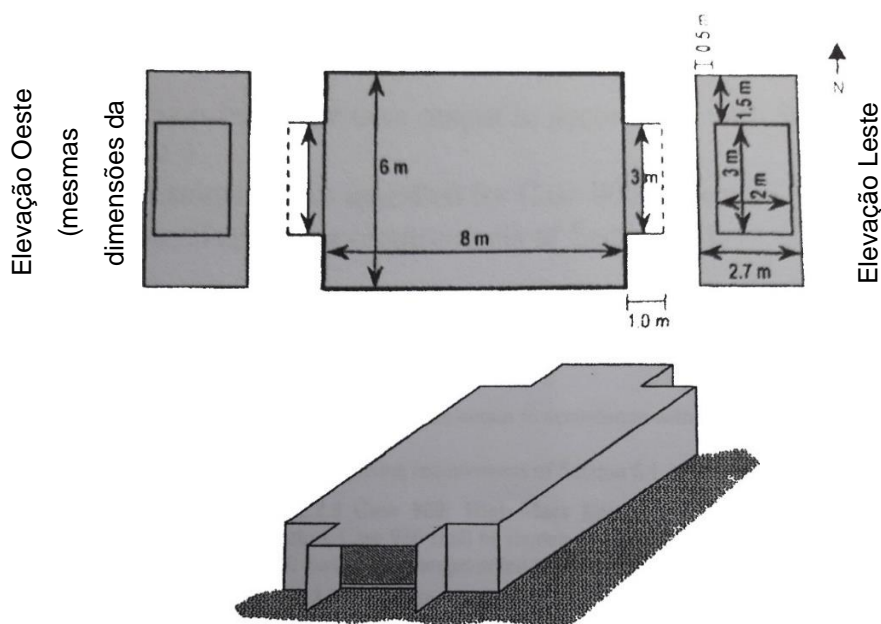
A partir dos aspectos observados na revisão bibliográfica, percebeu-se que diversos fatores, como o clima, umidade, tipo de vegetação e composição do substrato, interferem no desempenho térmico da cobertura verde e influenciam tanto no desempenho térmico da edificação quanto no ambiente externo.

Assim, este trabalho analisou a influência de diferentes tipologias de cobertura verde no desempenho termoenergético de uma edificação e seus benefícios para o ambiente externo, em diferentes condições climáticas – Porto Alegre, Brasília e São Luís, por meio de simulações computacionais com o programa EnergyPlus versão 9.2.

3.1 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

A tipologia definida consistiu em uma edificação de geometria genérica proposta no caso 930 da ANSI/ASHRAE 140 (2014) (Figura 8). Possui área total de 54 m², sem divisões internas e janelas com sombreamento orientadas no sentido leste/oeste.

Figura 8 - Planta baixa, elevações e perspectiva da tipologia de estudo



Fonte: Adaptado de ASHRAE 140 (2014)

Os parâmetros construtivos adotados para a envoltória podem ser observados na Tabela 6 seguindo a Instrução Normativa do INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (2018). O modelo de referência de cobertura adotada neste estudo de forma comparativa às

diferentes coberturas verdes é composta por telha de fibrocimento, câmara de ar e laje maciça de concreto. A instrução normativa não fornece recomendações quanto a composição do piso, portanto admitiu-se a seguinte composição: Radier de concreto de 15 cm de espessura, argamassa de 2,5 cm e piso cerâmico de 1,0 cm.

Tabela 6 - Composição e propriedades termofísicas de referência da envoltória para edificações sem tipologia definida.

| Elemento | Condição de referência | U [W/m²K] | α | C_T [kJ/m²K] |
|-----------------|---|---------------------------------|----------------------------|--|
| Paredes | Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm) | 2,39 | 0,5 | 150 |
| Cobertura | Telha de fibrocimento, câmara de ar não ventilada (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm) | 2,06 | 0,8 | 233 |
| Piso | Radier de concreto (15 cm), argamassa (2,5 cm) e piso cerâmico (1,0 cm) | 3,87 | - | 395 |

Fonte: Adaptado de Brasil (2017)

Foi adicionada uma variação ao modelo de referência por meio da alteração da absorvância solar (α) da cobertura de 0,8 para 0,2; denominado modelo de referência com baixa absorvância solar, e representando uma cobertura fria.

O EnergyPlus permite a inclusão de ganhos internos de calor, por meio da programação de ocupação de pessoas e equipamentos. Como visto na revisão de literatura, os maiores efeitos da cobertura verde podem ser observados durante o dia como resposta à exposição à radiação solar. Portanto, admitiu-se o padrão de ocupação e as cargas internas geradas por pessoas, equipamentos e iluminação, e propriedades da envoltória, com base também na Instrução Normativa INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e

Públicas (2018) adotando as especificações para edificações sem tipologia definida, conforme definido em Brasil (2018).

A edificação foi climatizada artificialmente para avaliar o consumo de energia anual para refrigeração e aquecimento a partir das faixas de temperatura de *setpoint* estabelecidas. A Tabela 7 demonstra as características de ocupação e utilização do ar condicionado para climatização.

Tabela 7 – Valores de referência para ocupação e equipamentos para edificações sem tipologia definida.

| | Elemento | Condição de referência |
|------------------------------|---|-------------------------------|
| Iluminação e ganhos internos | DPI – Densidade de potência de iluminação [W/m ²] | 15,0 |
| | Ocupação [m ² /pessoa] | 10,0 |
| | DPE – Densidade de potência de equipamentos [W/m ²] | 12,0 |
| | Horas de ocupação [h] | 12 |
| | Dias de ocupação [N _{ano}] | 300 |
| Ar condicionado | COP – Coeficiente de performance (W/W) | 2,60 |
| | Temperatura <i>setpoint</i> (°C) refrigeração | 24,0 |
| | Temperatura <i>setpoint</i> (°C) aquecimento | 22,0 |

Fonte: Adaptado de Brasil (2017)

A ventilação natural não foi inserida na programação do EnergyPlus, pois buscou-se analisar o consumo de energia para climatização dentro da faixa de temperatura estabelecida. Dessa forma o conforto térmico proporcionado pela utilização da cobertura verde não foi avaliado.

As temperaturas de solo são influenciadas pelas temperaturas do ar interno e externo. Para obter as temperaturas do solo do modelo em cada uma das localizações adotadas para este estudo, utilizou-se o programa Slab, que é vinculado ao EnergyPlus, com o modelo da cobertura de referência. Este programa realiza o cálculo da temperatura média do solo de cada mês do ano a partir das temperaturas médias internas e externas. Foram utilizados então, o ano climático de referência de

cada uma das cidades de Porto Alegre – RS, Brasília – DF e São Luís – MA. Os dados obtidos com o Slab estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores de temperatura média do solo [°C] para as simulações.

| Mês | Porto Alegre [°C] | Brasília [°C] | São Luís [°C] |
|------------|--------------------------|----------------------|----------------------|
| Janeiro | 26,8 | 25,43 | 27,45 |
| Fevereiro | 26,52 | 25,69 | 27,36 |
| Março | 25,89 | 25,08 | 26,97 |
| Abril | 23,55 | 24,71 | 27,16 |
| Maio | 20,09 | 23,02 | 26,96 |
| Junho | 19,27 | 21,79 | 26,94 |
| Julho | 18,05 | 21,67 | 27,08 |
| Agosto | 20,24 | 23,48 | 27,15 |
| Setembro | 21,23 | 25,09 | 27,28 |
| Outubro | 22,3 | 25,03 | 27,41 |
| Novembro | 24,4 | 25,35 | 27,36 |
| Dezembro | 26,27 | 24,04 | 27,3 |

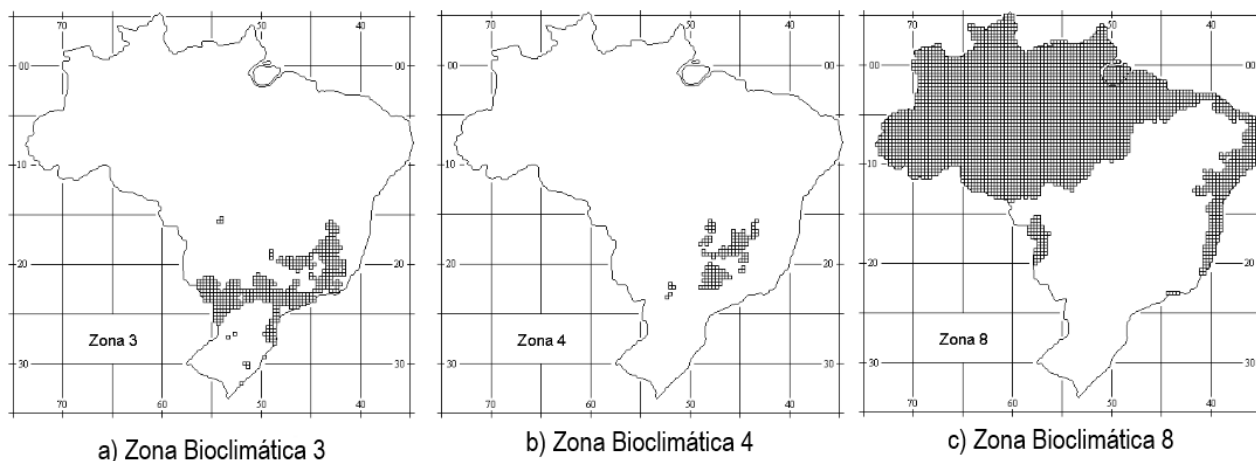
Fonte: A autora (2020)

Desta forma, o estudo contemplou três modelos comparativos com variação apenas na tipologia de cobertura, sendo elas: cobertura tradicional em fibrocimento (modelo de referência 1); cobertura fria (modelo de referência 2) e variações de cobertura verde.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CLIMAS

Três regiões com características distintas foram selecionadas para a realização deste estudo: Porto Alegre (30° 1' 40" S, 51° 13' 43" O, 22 m) localizada na zona bioclimáticas 3; Brasília (15° 46' 48" S, 47° 55' 45" O, 1.130 m), zona bioclimática 4 e São Luís (2° 31' 51" S, 44° 18' 24" O, 17 m), zona bioclimática 8, de acordo com NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). A Figura 9 ilustra as zonas bioclimáticas que serão abordadas neste trabalho.

Figura 9 - Zonas bioclimáticas estudadas



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15220-3:2005

As três cidades foram escolhidas por apresentarem condições climáticas muito diversificadas, representando uma parcela expressiva do território brasileiro. Assim, torna-se necessário a análise do desempenho termoenergético dos tipos de cobertura adotados neste trabalho, bem como seus benefícios para o ambiente externo.

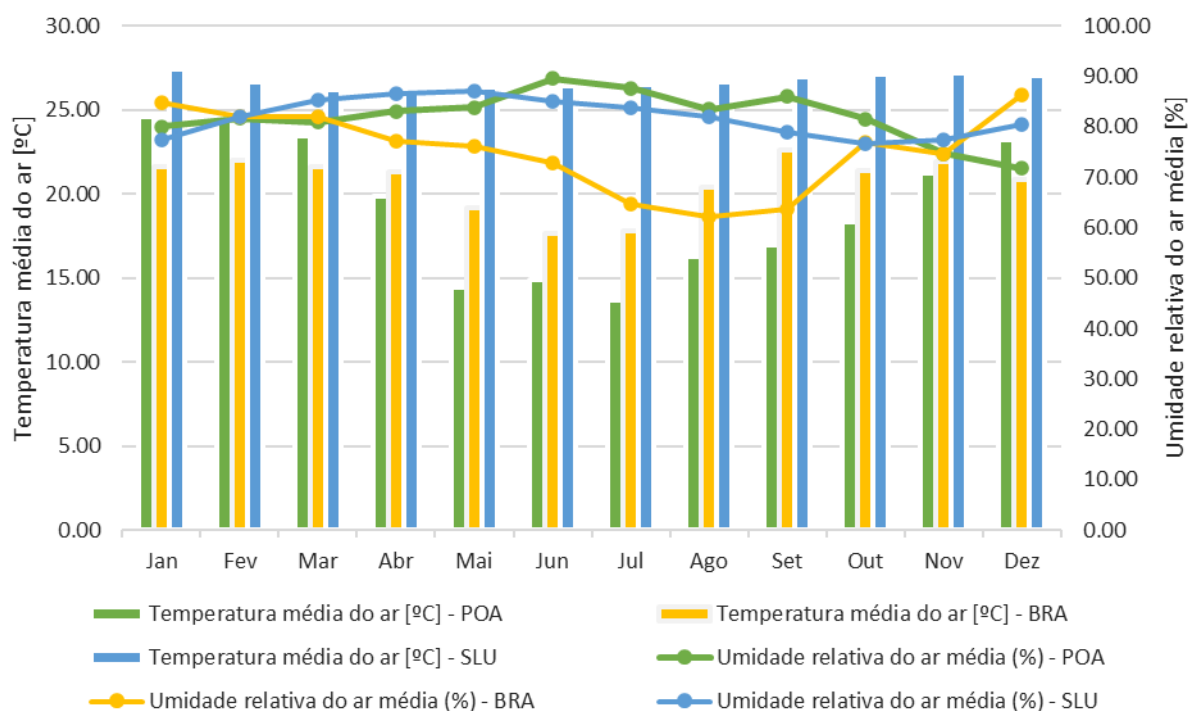
O clima de Porto Alegre é caracterizado como temperado com temperatura média anual branda, abaixo dos 20°C. No inverno as temperaturas podem atingir 2°C. Possui o regime de chuvas fartas e bem distribuídas ao longo do ano (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2015).

Brasília apresenta o clima tropical semiúmido com temperaturas quentes, médias maiores que 18°C em todos os meses e períodos de seca de 4 e 5 meses. O regime de chuvas é mais intenso no verão (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2015).

São Luís é caracterizada pelo clima equatorial com altas temperaturas durante o ano todo, em média 27°C, e chuvas abundantes mais concentradas durante o verão. (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2015).

Os arquivos climáticos utilizados para a simulação são disponibilizados pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE) no formato TRY (Test Reference Year). Os arquivos climáticos de cada cidade foram analisados para observar a variação do clima registrada nos arquivos. A Figura 10 apresenta a evolução das temperaturas do ar e umidade relativa do ar em cada cidade.

Figura 10 - Evolução mensal da temperatura do ar média e umidade relativa do ar média segundo o arquivo climático das três cidades



Fonte: A autora

3.3 TIPOLOGIAS DE COBERTURA VERDE

Neste estudo, foram variados parâmetros relativos à vegetação e ao substrato, compondo diferentes tipologias de coberturas verdes extensivas. Foram abordadas somente as coberturas verdes extensivas devido às vantagens em relação à cobertura verde intensiva, entre elas pode-se citar o menor custo de implantação, menor necessidade de manutenção, menor carga estrutural que permite a utilização em edificações existentes, como visto na revisão bibliográfica.

Para avaliar a influência da tipologia da cobertura verde na edificação e no ambiente externo, as propriedades térmicas da envoltória e cargas internas foram mantidas conforme a tabela de edificação sem tipologia definida em Brasil (2018). Os demais parâmetros da cobertura verde foram variados em diferentes níveis. A Tabela 9 apresenta os parâmetros variados na análise e seus níveis de variação.

Tabela 9 – Parâmetros e níveis de variação

| | Parâmetros Variáveis | Valores adotados | Níveis |
|-----------|---|-------------------------|---------------|
| Vegetação | Altura das plantas (m) | 0,1 – 0,35 | 2 |
| | Índice de área foliar (LAI) | 0,12 – 1,26 – 3,0 – 5,0 | 4 |
| | Refletância das folhas | 0,22 | 1 |
| | Emissividade das folhas | 0,95 | 1 |
| | Resistência estomática mínima (s/m) | 120 – 180 – 380 | 3 |
| Substrato | Rugosidade | MediumRough | 1 |
| | Espessura (m) | 0,10 – 0,15 – 0,20 | 3 |
| | Condutividade térmica (W/m K) | 0,2 – 0,35 – 1,0 | 3 |
| | Densidade (kg/m ³) | 546 – 788 - 1360 | 3 |
| | Calor específico (J/kg K) | 748,4 – 772,7 – 873,2 | 3 |
| | Absortância térmica | 0,9 | 1 |
| | Absortância solar | 0,8 | 1 |
| | Absortância visível | 0,75 | 1 |
| | Conteúdo volumétrico saturado de umidade | 0,3 | 1 |
| | Conteúdo volumétrico residual de umidade | 0,01 | 1 |
| | Conteúdo volumétrico inicial de umidade | 0,1 | 1 |
| | Método de cálculo da difusão da umidade no solo | Advanced | 1 |

Fonte: A autora (2019)

Os níveis de variação foram determinados de acordo com os parâmetros encontrados na literatura, de forma a possibilitar a exploração dos efeitos das diferentes tipologias de cobertura verde extensiva. Os demais parâmetros, com apenas um nível de variação, foram mantidos como o padrão oferecido pelo programa.

Os valores adotados para os parâmetros da vegetação foram definidos a partir dos estudos de Gagliano et al. (2014), que utilizou referências em suas simulações que representassem uma vegetação comumente utilizadas em coberturas verdes, como gramíneas, suculentas, sedum e musgos. Cascone et al (2018) utilizou parâmetros que representassem sedum e sálvia, uma planta subarborescente. Os

valores mais baixos utilizados em LAI foram obtidos através de medições realizadas por Ferrante et al. (2016).

Para o substrato, os valores dos parâmetros de densidade e calor específico foram adotados segundo os estudos de Coma et al. (2017). Para a condutividade térmica foram adotados o valor mínimo do programa de 0,2 W/m.K, o valor alternativo de 0,35 W/m.K sugerido no manual do EnergyPlus e o valor máximo do programa de 1,0 W/m.K. Os valores das espessuras do substrato foram adotados de acordo com os valores utilizados por Gagliano et al. (2014) e Vera et al. (2017), e o valor de 20 cm como a espessura limite de uma cobertura verde extensiva. As composições dos substratos estão dispostas na Tabela 10.

Tabela 10 - Composição dos substratos estudados

| Substrato | Fibra de coco (%) | Composto orgânico (%) | Resíduos de construção (%) | Areia grossa e granulada (%) | Pozolana (%) |
|------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Sub 1 | 0 | 40 | 0 | 20 | 40 |
| Sub 2 | 0 | 6 | N/A | N/A | N/A |
| Sub 3 | 25 | 40 | 30 | 5 | 0 |

Fonte: Adaptado de Coma et al. (2017)

Foram incluídas na modelagem computacional, as camadas de impermeabilização, drenagem e filtragem sobre a laje. A Tabela 11 mostra as propriedades térmicas das camadas adicionais, segundo o estudo de Dias (2016).

Tabela 11 - Propriedades térmicas das camadas adicionais

| Camada | Espessura [m] | Condutividade térmica [W/mK] | Densidade [kg/m³] | Calor específico [J/kgK] |
|---------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Camada de filtragem | 0,005 | 0,06 | 160 | 2500 |
| Camada de drenagem | 0,06 | 0,08 | 800 | 920 |
| Impermeabilização | 0,007 | 0,17 | 1200 | 920 |

Fonte: Adaptado de Dias (2016)

Todas as combinações possíveis foram obtidas por meio da combinação fatorial dos parâmetros, dada pela multiplicação dos parâmetros ou nível de cada fator (Equação 03), atingindo um total de 1.944 combinações para cada clima.

$$N^{\circ} \text{combinações} = a \times b \times \dots \times n \quad (03)$$

Em que:

N° comb.: número de combinações fatoriais;

a: nível de valores do parâmetro A;

b: número de níveis do parâmetro B;

n: número de níveis do parâmetro N.

3.4 VALIDAÇÃO DO MODELO DE COBERTURA VERDE

Para validação do modelo de cobertura verde presente no programa EnergyPlus foi utilizado os resultados das medições realizadas na “Casa Eficiente”, construída na cidade de Florianópolis, por meio de parceria entre a Eletrosul, a Eletrobrás e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os dados obtidos por meio da simulação computacional foram comparados aos obtidos por meio do monitoramento da edificação realizado em janeiro de 2008. A comparação foi verificada por meio da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), dada pela Equação 04.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [x_{sim} - x_{med}]^2}{n}} \quad (04)$$

Onde:

x_{sim} é o valor do indicador obtido por simulação;

x_{med} é o valor do indicador obtido por medição;

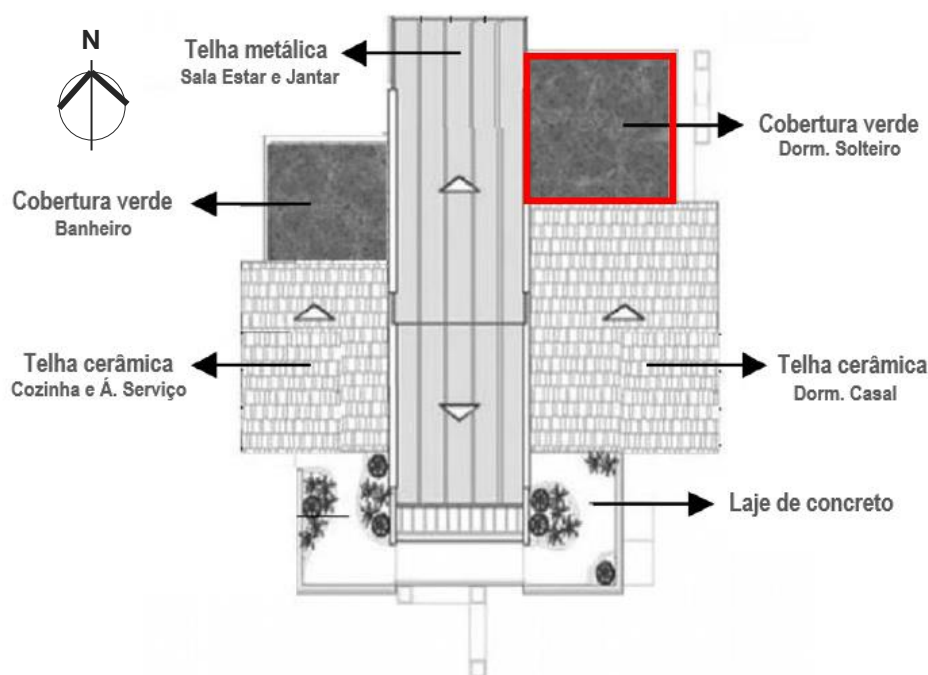
n é o número total de amostras.

Foram utilizados dois indicadores para esta validação, a temperatura do substrato e a temperatura da vegetação. Estes indicadores foram escolhidos para verificar a resposta de cada componente do modelo de cobertura verde implementado no programa EnergyPlus submetidas às condições climáticas específicas.

3.4.1 Descrição do modelo para validação

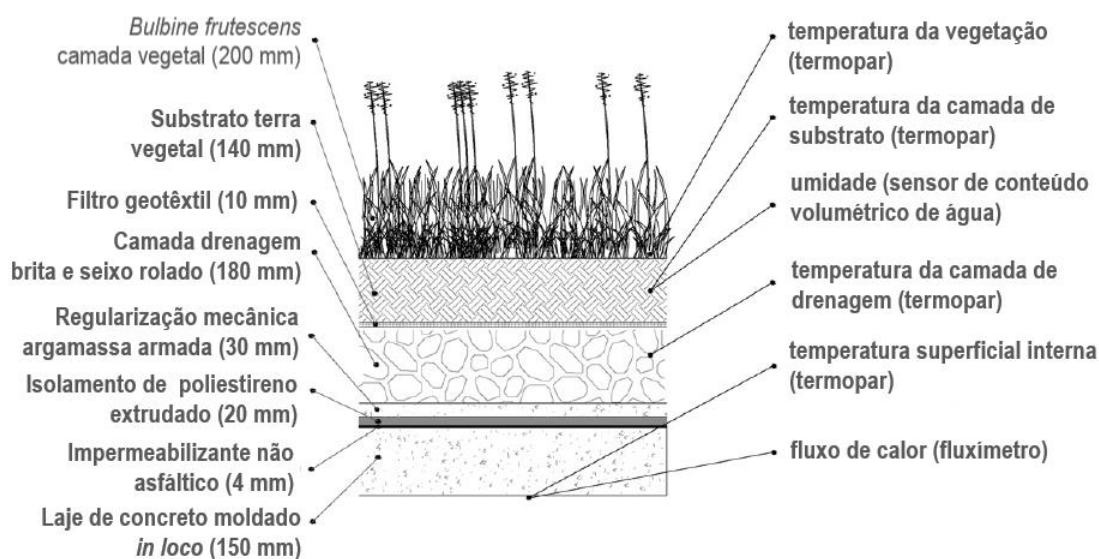
A edificação possui 124m² de área e apresenta diferentes estratégias de projeto devido aos estudos bioclimáticos realizados. A cobertura verde é uma das estratégias utilizadas sobre o quarto de solteiro e banheiro (Figura 11). A composição da cobertura verde sobre esses ambientes está disposta na Figura 12, bem como os dispositivos utilizados para monitoramento e suas disposições na cobertura verde.

Figura 11 - Planta de cobertura



Fonte: Adaptado de Parizotto e Lamberts (2011)

Figura 12 - Cobertura verde extensiva e monitoramento

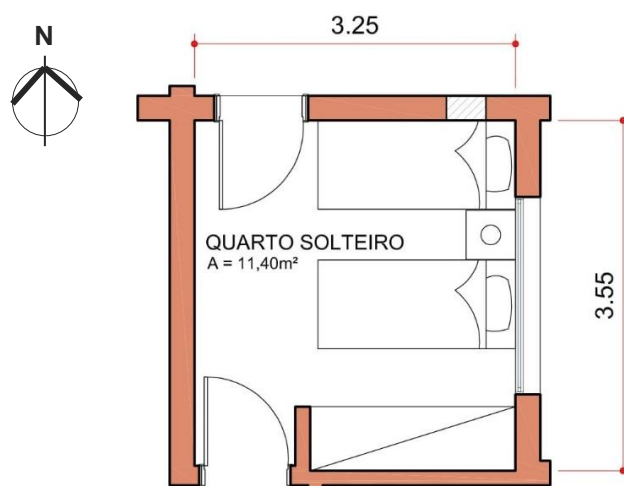


Fonte: Adaptado de Parizotto e Lamberts (2011)

Foi utilizado somente o ambiente do dormitório de solteiro (em destaque na Figura 11) para a validação, pois era o maior ambiente com a cobertura verde. A planta e suas dimensões podem ser observadas na Figura 13.

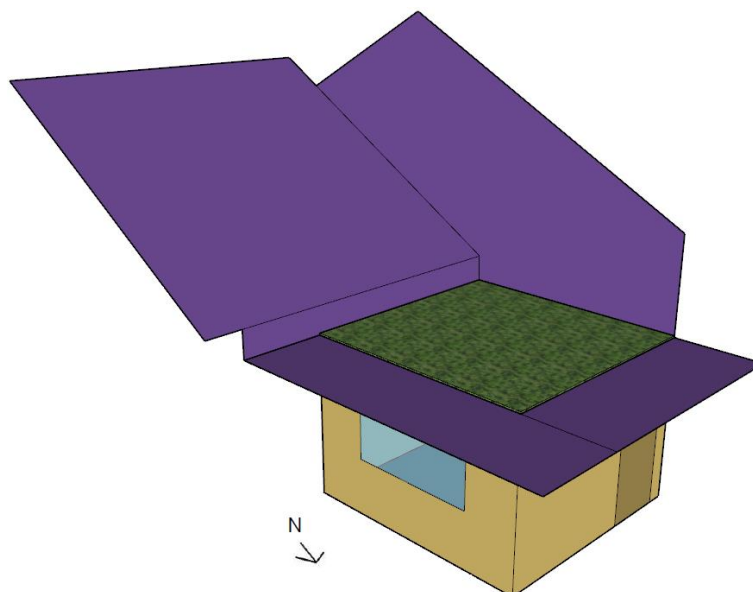
O ambiente foi modelado em uma única zona térmica e as paredes e coberturas de outros ambientes que sombreiam a cobertura verde foram representadas no modelo por meio de dispositivos fixos de sombreamento (Figura 14). As propriedades térmicas das paredes e piso utilizados estão dispostas na Tabela 12. As paredes que dividem outros ambientes foram consideradas adiabáticas.

Figura 13 -- Planta do dormitório de solteiro



Fonte: Adaptado de Pereira (2009)

Figura 14 - Perspectiva do modelo de calibração da simulação



Fonte: A autora (2019).

Tabela 12 - Composição e propriedades termofísicas de referência da envoltória

| Elemento | Elementos | U⁵ [W/m²K] | C_T⁶ [kJ/m²K] |
|-----------------|---|---|--|
| Parede Norte | Parede dupla de tijolos maciços com isolamento de lã de rocha e reboco somente na face interna. Dimensão do tijolo: 10x6x22 cm; Espessura argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura lã de rocha: 2,5 cm; Espessura reboco interno: 2,5 cm; Espessura total da parede: 25,0 cm | 1,06 | 376,45 |
| Parede Leste | Parede dupla de tijolos maciços com isolamento de lã de rocha sem reboco Dimensão do tijolo: 10x6x22 cm; Espessura argamassa de assentamento: 1,0 cm; Espessura lã de rocha: 2,5 cm; Espessura total da parede: 22,5 cm | 1,06 | 326,45 |
| Piso | Laje de concreto: 10,0 cm | 5,08 | 220 |

Fonte: A autora (2019).

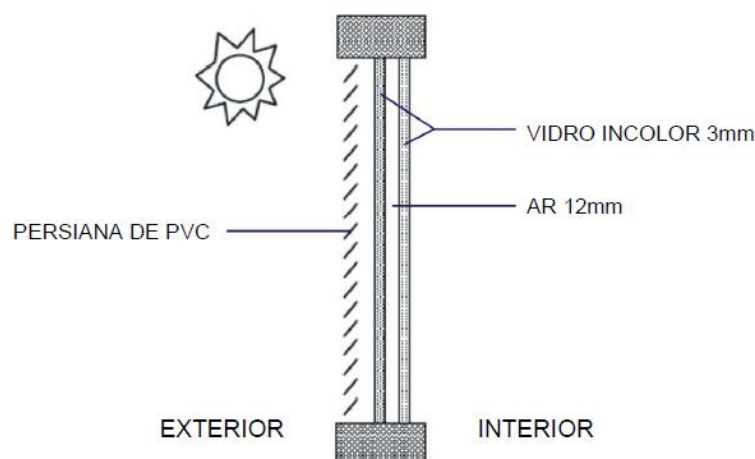
A janela e porta são de vidro duplo incolor de 3,0 mm de espessura e uma camada de ar de 12,0 mm no interior. O vidro utilizado é um vidro comum em que permanecem os parâmetros padrão do programa. As aberturas apresentam um sistema de persianas de PVC branco que foram inseridas no programa EnergyPlus no lado externo, conforme Figura 15 (PEREIRA, 2009).

Foi inserido no programa o padrão de abertura e fechamento da janela e da persiana como ocorreu no período de monitoramento, como pode ser observado na Tabela 13. Durante o final de semana, a persiana e a janela permaneceram fechadas 24h, a porta e a persiana da porta permaneceram fechadas 24h durante todo o período de monitoramento, conforme Pereira (2008).

⁵ U = Trânsmitância térmica [W/m².K]

⁶ C_T = Capacidade térmica [kJ/m².K]

Figura 15 - Persianas



Fonte: Pereira (2009)

Tabela 13 – Abertura da janela e persiana do dormitório de solteiro no período de monitoramento.

| Horário | Janela | Persiana |
|-----------|--------|----------|
| 00h a 08h | F | F |
| 08h a 09h | F | A |
| 09h a 12h | A | A |
| 12h a 14h | F | F |
| 14h a 17h | A | A |
| 17h a 24h | F | F |

Legenda: F = Fechada A = Aberta

Fonte: Adaptado de Pereira (2009).

3.4.2 Período de monitoramento

O período de monitoramento utilizado para a validação do modelo foi de 09/01/2008 a 16/01/2008. A limitação do período foi determinada pela disponibilidade de dados medidos da cobertura verde e do ambiente externo.

3.4.3 Variáveis monitoradas

No período de medição, o perfil de temperaturas da cobertura verde foi monitorado utilizando termopares do tipo T com espessura AWG 24, flexível, com isolamento em PVC.

Os dados climáticos utilizados na simulação foram obtidos da estação meteorológica do Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia (LEPTEN) do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC e disponibilizados por Pereira (2009). Essa estação registrou dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica e radiação solar global, direta e difusa, e está localizada a aproximadamente 550 metros da edificação.

3.5 ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

3.5.1 Análise dos benefícios para o ambiente interno

A partir das combinações geradas, as simulações foram executadas para cada clima escolhido em 3.1.2. As simulações foram executadas com o auxílio do programa JEPlus, uma ferramenta que auxilia no gerenciamento das simulações e permite a inserção dos parâmetros e seus valores que serão variados e a extração dos resultados da simulação para serem analisados.

O consumo de energia para climatização foi o parâmetro utilizado para analisar as combinações que geram maiores benefícios para o ambiente interno, por meio da avaliação dos dados de saída de consumo relativo anual para aquecimento (kWh/m^2 ano) e o consumo relativo anual para refrigeração (kWh/m^2 ano). Estes dados foram comparados com o consumo nos modelos de referência 1 e 2 para avaliar o impacto da utilização de coberturas verdes extensivas em cada uma das condições climáticas de análise.

3.5.2 Análise dos benefícios para o ambiente externo

Nesta etapa foram avaliados os benefícios para o ambiente externo dos casos que apresentaram os menores valores de consumo de energia para aquecimento e refrigeração, e foram comparados com os modelos de referência 1 e 2.

Diferente das coberturas frias (adotada como modelo de referência 2), que reduzem a liberação de calor sensível para a atmosfera devido ao aumento da parcela de radiação solar refletida para o entorno, a cobertura verde reduz a temperatura do ar através do equilíbrio dos fluxos de calor sensível e latente (evapotranspiração) e liberação de umidade. Convencionou-se na literatura analisar o benefício da cobertura verde para o ambiente externo por meio das temperaturas superficiais e fluxo de calor sensível. Entretanto, variáveis importantes para o balanço

energético da cobertura verde precisam ser consideradas: fluxo de calor latente e umidade liberada.

Desta forma, foi analisado o balanço energético da cobertura verde. Para esta análise foi levantada a densidade de fluxo de calor sensível (W/m^2) e latente (W/m^2) e a evapotranspiração (mm). A Tabela 14 apresenta as variáveis de saída disponibilizadas pelo EnergyPlus para compor o balanço energético das coberturas verdes e dos modelos de referência de cobertura tradicional e fria. As trocas de calor por radiação entre a vegetação e o ambiente externo, entre o substrato e o ambiente externo e entre o substrato e a vegetação não estão incluídas na variável de saída de trocas de calor sensível. Esta variável representa apenas a troca de calor por convecção. Entretanto, é possível calcular as trocas de calor por radiação por meio de outras variáveis de saída que o programa disponibiliza e do cálculo analítico utilizando as equações 5 e 6.

$$Q_v = \sigma_v [I_s(1 - \alpha_v) + \varepsilon_v I_{ir} - \varepsilon_v \sigma T_v^4] + \frac{\sigma_v \varepsilon_s \varepsilon_v \sigma}{\varepsilon_1} (T_s^4 - T_v^4) \quad (5)$$

$$Q_s = (1 - \sigma_v) [I_s(1 - \alpha_s) + \varepsilon_s I_{ir} - \varepsilon_s T_s^4] - \frac{\sigma_v \varepsilon_s \varepsilon_v \sigma}{\varepsilon_1} (T_s^4 - T_v^4) \quad (6)$$

Onde

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_s + \varepsilon_v - \varepsilon_v \varepsilon_s \quad (7)$$

$$\sigma_v = 1 - e^{(-0,75LAI)} \quad (8)$$

Em que:

T_v .: temperatura da vegetação

T_s .: temperatura do substrato

I_s .: incidência da radiação solar

I_{ir} .: incidência da radiação no infravermelho

σ_v .: cobertura fracional;

ε_s .: emissividade do substrato

ε_v .: emissividade da vegetação

LAI.: Índice de Área Foliar

Tabela 14 - Variáveis de saída utilizadas para cobertura verde

| Cobertura | Parcela do balanço térmico | Variável correspondente |
|------------------|---|--|
| Cobertura verde | Radiação Solar Incidente | <i>Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area</i> |
| | Radiação Emitida (Substrato) | Não Disponível – Cálculo no Apêndice I |
| | Radiação Emitida (Vegetação) | Não Disponível – Cálculo no Apêndice I |
| | Convecção (Substrato) | <i>Green Roof Soil Sensible Heat Transfer Rate per Area</i> |
| | Convecção (Vegetação) | <i>Green Roof Vegetation Sensible Heat Transfer Rate per Area</i> |
| | Fluxo calor latente (substrato) | <i>Green Roof Soil Latent Heat Transfer Rate per Area</i> |
| | Fluxo calor latente (vegetação) | <i>Green Roof Vegetation Latent Heat Transfer Rate per Area</i> |
| | Condução | <i>Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Rate per Rate per Area</i> |
| | Temperatura do Substrato | <i>Green Roof Soil Temperature</i> |
| | Temperatura da Vegetação | <i>Green Roof Vegetation Temperature</i> |
| | Evapotranspiração do solo e das plantas | <i>Green Roof Current Evapotranspiration Depth</i> |
| | Temperatura da Superfície Interna da Laje | <i>Surface Inside Face Temperature</i> |

Fonte: Adaptado de Dias (2016)

Tabela 15 - Variáveis de saída utilizadas para coberturas de referência

| Cobertura | Parcela do balanço térmico | Variável correspondente |
|--------------------------------|---|--|
| Coberturas de referência 1 e 2 | Radiação Solar Incidente | <i>Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area</i> |
| | Radiação Solar Refletida | <i>(1 - α) x Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area</i> |
| | Radiação Emitida | <i>Surface Outside Face Net Thermal Radiation Heat Gain Rate per Area</i> |
| | Convecção na Superfície Externa | <i>Surface Outside Face Convection Heat Gain Rate per Area</i> |
| | Condução da laje | <i>Surface Inside Face Conduction Heat Transfer Rate per Area</i> |
| | Temperatura da Superfície Externa | <i>Surface Outside Face Temperature</i> |
| | Temperatura da Superfície Interna da Laje | <i>Surface Inside Face Temperature</i> |

Fonte: Adaptado de Dias (2016)

A análise do benefício para o ambiente externo foi realizada para o período anual e comparada com os modelos de referência 1 e 2.

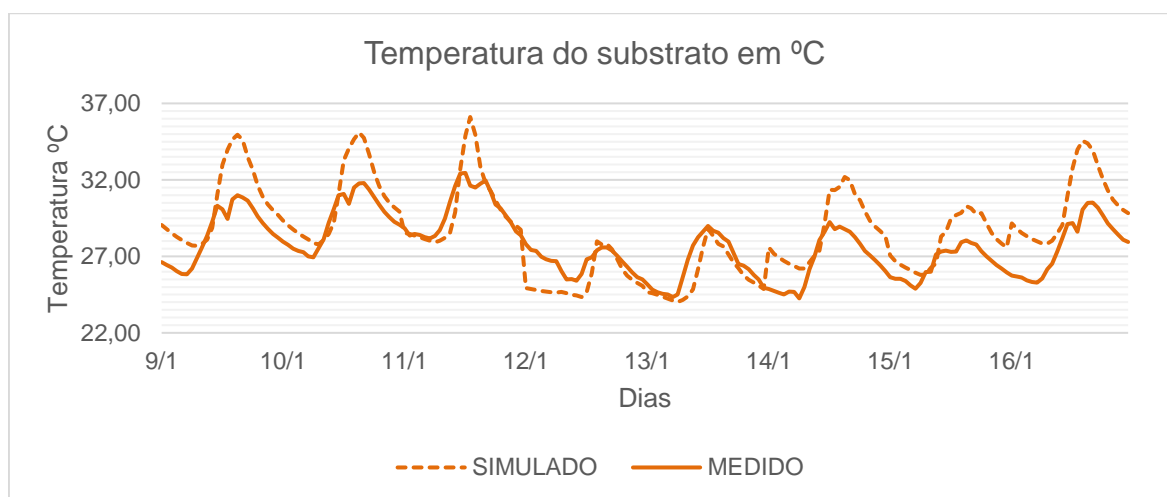
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pela aplicação do método proposto são apresentados e discutidos neste capítulo. Os resultados estão divididos em três partes. Na primeira parte, foram apresentados os dados referentes à validação. Foi verificada a capacidade do programa em simular a resposta de uma cobertura verde à condição climática submetida, por meio da temperatura da vegetação e do substrato. Na segunda parte, foram apontadas as combinações de parâmetros de cobertura verde que geraram os maiores e menores consumos para aquecimento e refrigeração. Na terceira parte, foi realizado o estudo do balanço térmico com as composições de cobertura verde que proporcionaram menor consumo de energia elétrica, e comparado com o balanço térmico dos modelos de referência 1 e 2 para verificar os benefícios para o ambiente externo.

4.1 RESULTADO DA VALIDAÇÃO DA COBERTURA VERDE

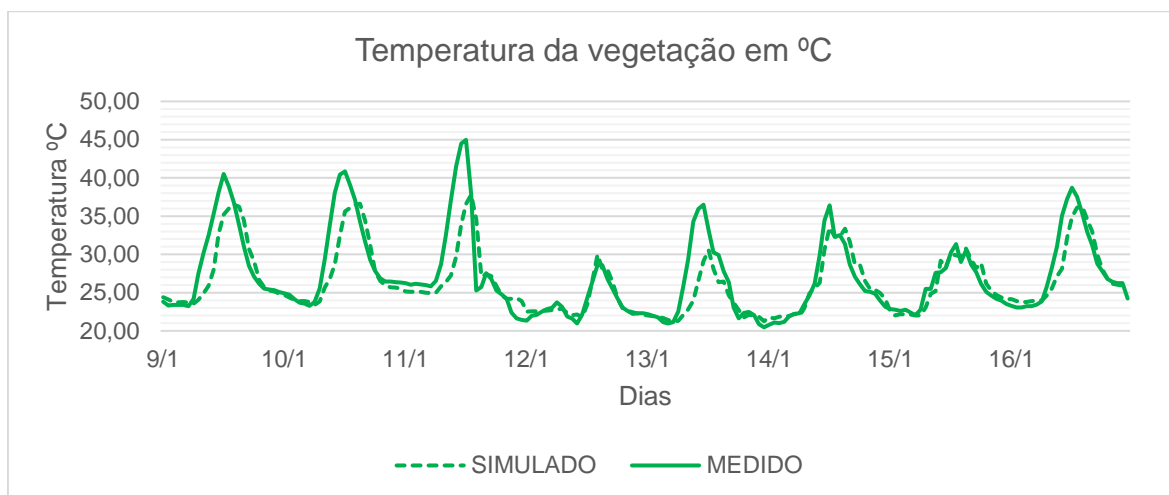
Para validar o modelo de cobertura verde implementado ao programa EnergyPlus, a temperatura do substrato e da vegetação foi comparada com os dados registrados no sistema monitorado. As Figuras 16 e 17 apresentam as curvas de distribuição de temperaturas ao longo dos dias de validação contendo dados simulados e medidos. As Tabelas 16 e 17 complementam os dados dos gráficos com valores absolutos das diferenças de temperaturas. As diferenças negativas demonstram que o modelo simulado subestima os dados da medição, enquanto as diferenças positivas indicam que a simulação superestima as medições.

Figura 16 - Gráfico comparativo dos resultados de temperatura do substrato.



Fonte: A autora (2020).

Figura 17 - Gráfico comparativo dos resultados de temperatura da vegetação.



Fonte: A autora (2020).

Observando as curvas de distribuição da temperatura do substrato na Figura 16, pode-se afirmar que o comportamento do modelo é similar ao do sistema medido. A diferença de temperaturas horárias do substrato foi em média $0,96^{\circ}\text{C}$ em relação ao sistema medido. Nos dias 09, 10, 14, 15 e 16 os picos de temperatura foram mais altos que o real, em média $4,2^{\circ}\text{C}$ às 14h, como pode ser observado na Tabela 16. Os dias 12 e 13 foram os dias em que as temperaturas do modelo foram em média $0,93^{\circ}\text{C}$ menores que o real.

O gráfico de temperatura da vegetação (Figura 17) demonstra que o modelo apresentou comportamento muito próximo à condição real, como pode ser observado nos pontos de inflexão das curvas de medição e simulação. A diferença média de temperatura foi $0,78^{\circ}\text{C}$ menor na simulação em relação aos dados medidos. As maiores diferenças absolutas ocorreram entre 09h e 13h para a maior parte do período simulado, atingindo a diferença absoluta máxima de $11,84^{\circ}\text{C}$, no dia 11 (Tabela 17).

Tabela 16 - Diferença absoluta da temperatura do substrato entre a simulação e dados de medição.

| Hora/Dia | 09/jan | 10/jan | 11/jan | 12/jan | 13/jan | 14/jan | 15/jan | 16/jan |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 01:00 | 2.44 | 1.37 | -0.32 | 2.88 | 0.50 | 2.72 | 1.41 | 3.41 |
| 02:00 | 2.34 | 1.28 | 0.09 | 2.56 | -0.24 | 2.43 | 1.16 | 3.12 |
| 03:00 | 2.23 | 1.26 | -0.11 | 2.56 | -0.17 | 2.30 | 0.93 | 2.92 |
| 04:00 | 2.22 | 1.16 | -0.15 | 2.24 | -0.19 | 2.18 | 0.88 | 2.88 |
| 05:00 | 2.23 | 1.03 | -0.12 | 2.12 | -0.27 | 1.82 | 1.01 | 2.81 |
| 06:00 | 2.06 | 1.11 | -0.15 | 2.05 | -0.25 | 1.69 | 1.05 | 2.69 |
| 07:00 | 1.51 | 0.94 | -0.42 | 2.05 | -0.49 | 1.94 | 0.53 | 2.28 |
| 08:00 | 0.77 | 0.24 | -0.68 | 1.36 | -1.49 | 1.21 | -0.13 | 1.68 |
| 09:00 | 0.22 | -0.04 | -1.26 | 0.90 | -2.42 | 0.46 | 0.25 | 1.49 |
| 10:00 | -0.26 | -0.72 | -2.03 | 1.02 | -2.88 | 0.06 | -0.58 | 1.18 |
| 11:00 | -0.39 | -0.87 | -1.73 | 0.95 | -2.05 | -0.69 | 0.98 | 0.85 |
| 12:00 | 0.74 | 0.11 | 0.30 | 1.51 | 0.95 | 0.53 | 1.21 | 1.87 |
| 13:00 | 2.90 | 2.20 | 2.44 | 2.13 | -0.19 | 2.11 | 2.17 | 3.60 |
| 14:00 | 4.50 | 3.63 | 4.49 | 1.04 | -0.34 | 2.56 | 2.39 | 5.35 |
| 15:00 | 3.91 | 3.17 | 3.45 | 0.57 | -0.72 | 2.60 | 1.93 | 4.50 |
| 16:00 | 3.96 | 3.34 | 1.08 | 0.18 | -0.55 | 3.41 | 2.25 | 3.88 |
| 17:00 | 3.78 | 2.94 | -0.17 | 0.24 | -0.82 | 3.37 | 2.28 | 3.41 |
| 18:00 | 2.86 | 2.32 | 0.03 | 0.08 | -0.61 | 2.80 | 1.98 | 2.77 |
| 19:00 | 2.53 | 1.65 | 0.28 | -0.20 | -0.26 | 2.84 | 2.48 | 2.39 |
| 20:00 | 2.05 | 1.21 | -0.08 | -0.50 | -0.64 | 2.60 | 2.15 | 2.14 |
| 21:00 | 1.72 | 1.03 | -0.08 | -0.60 | -0.68 | 2.26 | 1.80 | 1.93 |
| 22:00 | 1.60 | 0.94 | 0.04 | -0.49 | -0.51 | 2.20 | 1.69 | 1.90 |
| 23:00 | 1.56 | 0.93 | 0.39 | -0.38 | -0.40 | 2.25 | 1.63 | 1.95 |
| 00:00 | 1.48 | 0.87 | 0.37 | -0.42 | -0.09 | 2.29 | 1.63 | 1.88 |

Fonte: A autora (2020).

Tabela 17 - Diferença absoluta da temperatura da vegetação entre a simulação e dados de medição.

| Hora/Dia | 09/jan | 10/jan | 11/jan | 12/jan | 13/jan | 14/jan | 15/jan | 16/jan |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 01:00 | 0.58 | -0.22 | -1.10 | 1.17 | -0.20 | 0.98 | -0.24 | 0.88 |
| 02:00 | 0.80 | -0.37 | -0.90 | 0.57 | -0.04 | 0.56 | -0.74 | 0.83 |
| 03:00 | 0.41 | -0.10 | -1.02 | 0.46 | 0.06 | 0.83 | -0.41 | 0.73 |
| 04:00 | 0.37 | 0.20 | -0.96 | 0.12 | 0.54 | 0.75 | -0.62 | 0.58 |
| 05:00 | 0.37 | 0.30 | -1.00 | -0.21 | 0.44 | 0.01 | -0.27 | 0.65 |
| 06:00 | 0.47 | 0.49 | -0.87 | -0.29 | 0.14 | 0.00 | -0.06 | 0.54 |
| 07:00 | -0.60 | -0.36 | -1.57 | -0.97 | -1.20 | -0.35 | -0.76 | 0.11 |
| 08:00 | -3.44 | -1.70 | -2.89 | -0.23 | -3.77 | -0.52 | -2.41 | -1.12 |
| 09:00 | -5.28 | -3.74 | -6.12 | 0.46 | -6.56 | 0.23 | -0.62 | -2.65 |
| 10:00 | -6.64 | -6.92 | -9.68 | 0.47 | -10.33 | -0.54 | -2.39 | -3.87 |
| 11:00 | -7.83 | -9.38 | -11.84 | 1.15 | -9.37 | -3.61 | 1.52 | -6.96 |
| 12:00 | -5.47 | -7.99 | -10.59 | -0.33 | -7.36 | -3.80 | 0.16 | -5.07 |
| 13:00 | -5.27 | -5.25 | -8.40 | -0.84 | -2.58 | -2.87 | -0.21 | -3.88 |
| 14:00 | -2.91 | -2.95 | -0.13 | 0.19 | -2.13 | 0.01 | -1.46 | -1.40 |
| 15:00 | -0.24 | -0.70 | 9.35 | 1.32 | -3.56 | -0.20 | 0.72 | 0.95 |
| 16:00 | 2.38 | 2.37 | 1.35 | -0.53 | -1.33 | 2.02 | 0.28 | 1.63 |
| 17:00 | 3.43 | 2.77 | -0.12 | 1.22 | -1.71 | 3.00 | 0.69 | 1.81 |
| 18:00 | 2.21 | 1.88 | 0.39 | 0.90 | 0.62 | 1.58 | 0.56 | 1.23 |
| 19:00 | 2.01 | -0.06 | 0.60 | 0.02 | 1.09 | 2.50 | 2.73 | 0.26 |
| 20:00 | 0.51 | -0.34 | -0.12 | -0.09 | -0.57 | 1.33 | 1.10 | 0.07 |
| 21:00 | 0.21 | -0.53 | -0.03 | 0.05 | -0.36 | 0.36 | 0.63 | -0.25 |
| 22:00 | -0.10 | -0.75 | 1.82 | 0.23 | -0.03 | 0.48 | 0.52 | -0.22 |
| 23:00 | -0.17 | -0.73 | 2.63 | -0.05 | 0.94 | 1.03 | 0.41 | -0.32 |
| 00:00 | -0.21 | -0.79 | 2.47 | -0.20 | 0.81 | 1.00 | 0.60 | 1.68 |

Fonte: A autora (2020).

O paralelismo entre as curvas da simulação e dos dados medidos (Figuras 15 e 16) demonstrou que o modelo interpretou de forma correta as trocas de calor entre o meio e o substrato e a vegetação. Este indício demonstra que o modelo é capaz de responder à condição climática e suas variações a que está submetido de forma adequada.

As diferenças entre as temperaturas da vegetação e substrato no modelo da cobertura verde em relação às medições justificam-se pela configuração adotada no módulo de cobertura verde do EnergyPlus. Conforme elucidado na revisão bibliográfica, as trocas de calor latente da vegetação e do substrato acontecem por meio do fenômeno de evapotranspiração, que dependem das condições climáticas e do conteúdo volumétrico de água no substrato. Durante os períodos em que ocorre a exposição a grandes parcelas de radiação solar, entre às 10h e 16h, a evapotranspiração é maior. Para a validação, os parâmetros relacionados a saturação e conteúdo volumétrico de umidade no substrato não foram alterados, portanto divergências entre o modelo e a condição real eram esperadas

Para avaliar se o comportamento do modelo se aproxima do sistema monitorado, utilizou-se a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSD) como métrica estatística do desvio dos resultados da modelagem em relação à cobertura verde observada. Os resultados estão dispostos na Tabela 18.

Tabela 18 - Raiz do Erro Quadrático Médio.

| Indicador de análise | RMSD [°C] |
|--------------------------|-----------|
| Temperatura do substrato | 2,17 |
| Temperatura da vegetação | 2,85 |

Fonte: A autora (2020).

Diversos estudos utilizaram a simulação computacional para avaliar a interferência da cobertura verde no desempenho térmico da edificação e os benefícios para o ambiente externo, como apresentado na revisão bibliográfica. Entretanto, muitos deles não apresentaram o método utilizado para validar seus modelos. Os estudos que realizaram a validação, de forma geral, utilizaram apenas a temperatura do substrato como variável de saída e divergiram com relação às métricas estatísticas utilizadas e intervalo de tempo utilizado. Apesar dessas distinções, é possível utilizá-los como referência para avaliar o desempenho desta validação.

Sailor (2008) utilizou a temperatura do substrato para validar seu algoritmo implementado ao EnergyPlus e obteve a Raiz do Erro Quadrático Médio de 4,1°C e erro médio de 2,9°C. O autor concluiu que o modelo funcionou adequadamente, pois os parâmetros de vegetação não foram alterados, de modo que haviam muitos graus de liberdade. Foustalieraki et al. (2017) utilizaram a temperatura do substrato em um dia típico de inverno e realizaram a comparação através da temperatura média das 10h às 15h. A maior diferença entre a simulação e a medição foi cerca de 1°C. Ouldoukhithine et al. (2014) utilizaram o programa TRNSYS e sua validação também foi baseada na temperatura do substrato para cerca de trinta dias no verão e trinta dias no inverno. Os autores compararam as diferenças entre as temperaturas medidas e simuladas e verificaram que em 89% do período de validação essas diferenças não excederam 1°C, no restante do tempo varia entre 1°C a 2,4°C.

Avalia-se que o modelo deste trabalho apresentou resultados próximos ao dos estudos de referência. Ao avaliar a cobertura verde como um todo, foi levado em consideração não somente a temperatura do substrato, mas também a temperatura da vegetação. A raiz do erro quadrático médio foi igual a 2,17°C para a temperatura do substrato e 2,85°C para a temperatura da vegetação, o que são considerados satisfatórios. Portanto, pode-se afirmar que o modelo de cobertura verde simulado apresentou comportamento de acordo com o sistema monitorado, embora a adequação de parâmetros relacionados à umidade forneceria resultados mais precisos.

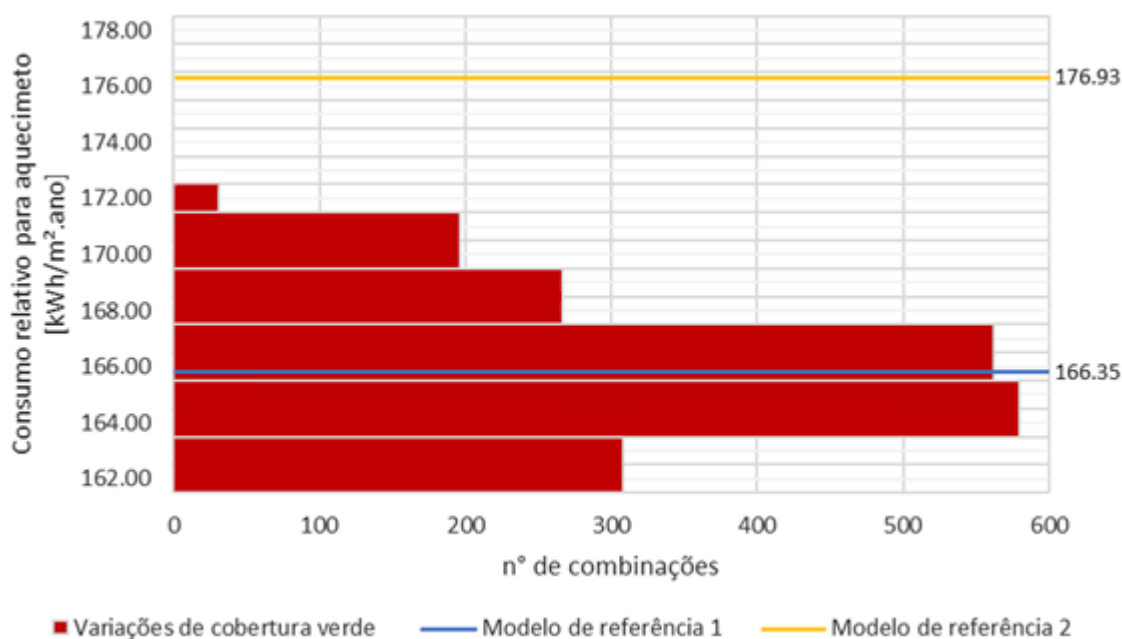
4.2 ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS PARA O AMBIENTE INTERNO

Este item consiste da análise do consumo relativo para aquecimento (CA) e consumo relativo para refrigeração (CR) dos modelos de referência 1 e 2 e das diferentes variações de cobertura verde para as cidades de Porto Alegre (ZB3), Brasília (ZB4) e São Luís (ZB8).

4.2.1 Porto Alegre

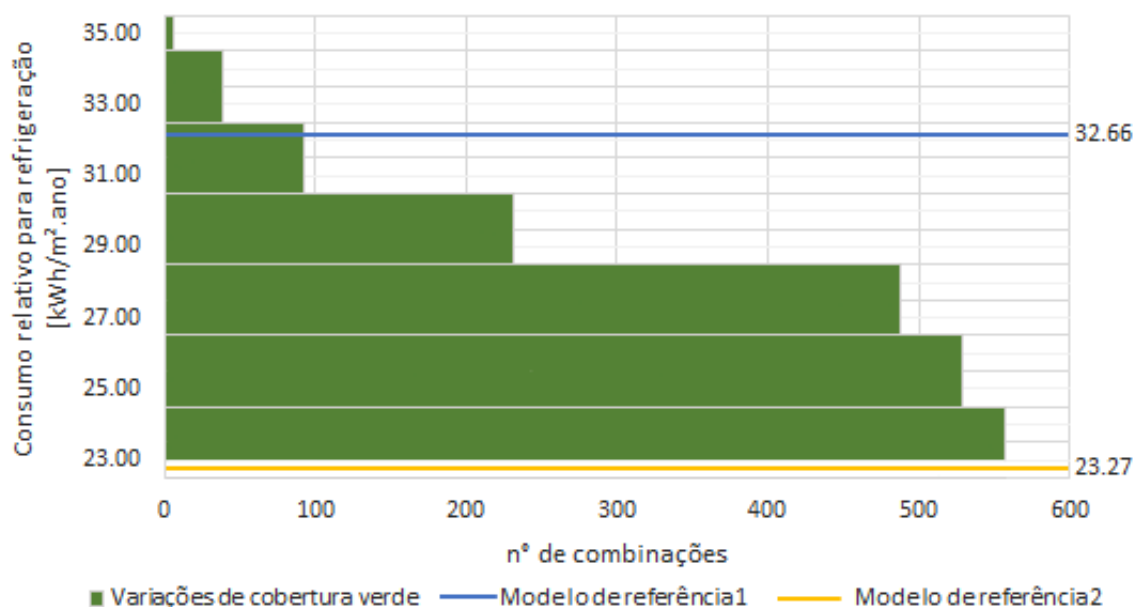
As Figuras 18 e 19 apresentam distribuição dos resultados por faixa de consumo relativo para aquecimento e refrigeração considerando os 1944 casos analisados para o clima temperado da cidade de Porto Alegre.

Figura 18 – Quantidades de casos para consumo relativo para aquecimento em Porto Alegre.



Fonte: A autora

Figura 19 - Quantidades de casos para consumo relativo para refrigeração em Porto Alegre.



Fonte: A autora

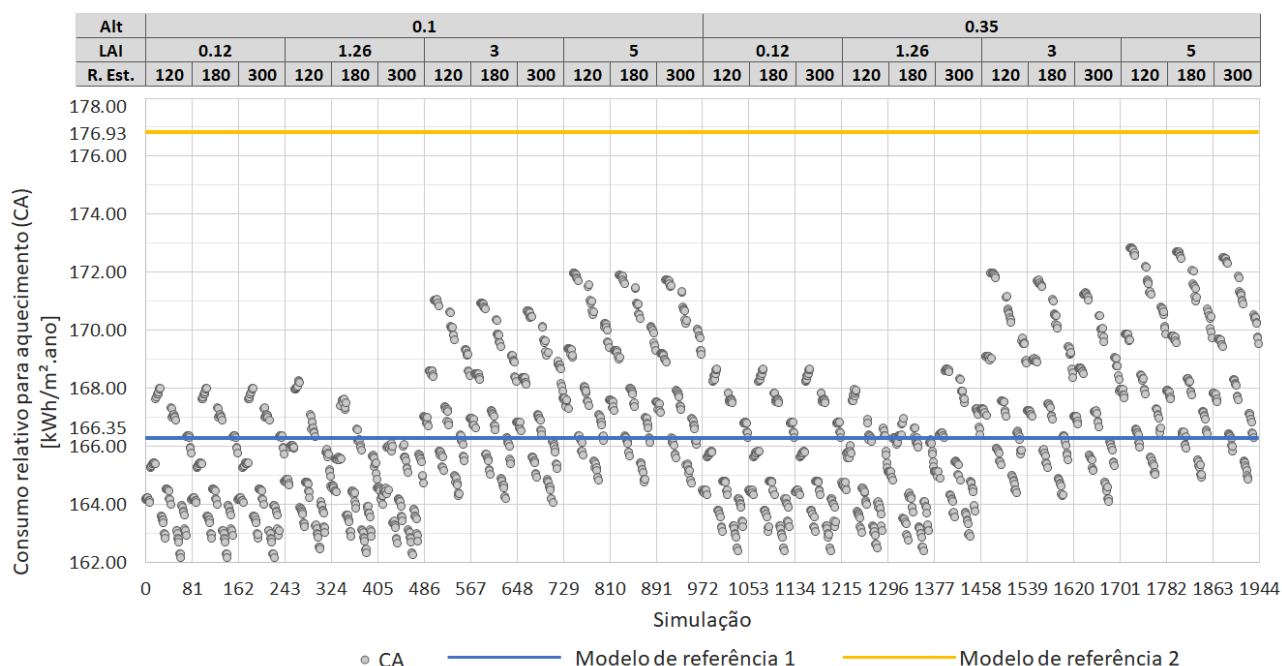
Para o consumo relativo para aquecimento em Porto Alegre, apresentado na Figura 18, obteve-se valores de 166,35 kWh/m².ano e 176,93 kWh/m².ano para a cobertura tradicional em fibrocimento (modelo de referência 1) e cobertura fria (modelo de referência 2), respectivamente. Analisando os resultados das variações

de cobertura verde dentro de faixas de consumo, obteve-se 886 combinações de coberturas verdes com consumo relativo para aquecimento abaixo de 166 kWh/m².ano (modelo de referência 1). Nenhum caso de cobertura verde apresentou consumo maior que o modelo de referência 2. Isso demonstra que o desempenho termoenergético para aquecimento de diferentes configurações de cobertura verde pode ser melhor do que dos modelos de referência 1 e 2, dependendo do tipo de vegetação e substrato utilizado.

Para o consumo relativo para refrigeração, obteve-se valores de 32,66 kWh/m².ano e 23,27 kWh/m².ano para a cobertura tradicional em fibrocimento (modelo de referência 1) e cobertura fria (modelo de referência 2), respectivamente, como pode ser observado na Figura 19. Obteve-se 557 combinações de coberturas verdes com consumo relativo para refrigeração na faixa de entre 23,50-24 kWh/m².ano, se assemelhando ao desempenho para refrigeração obtido pela cobertura fria. 90 casos apresentaram consumo relativo para refrigeração entre 32 kWh/m².ano e 34 kWh/m².ano, mesma faixa de consumo do modelo de referência 1. Apenas 6 casos apresentaram consumo acima de 34 kWh/m².ano.

Para facilitar a análise das 1944 variações propostas para as coberturas verdes, primeiramente os resultados foram divididos em função dos parâmetros da vegetação. Estão representados os seguintes parâmetros na Figura 20: Alt – altura da vegetação (m), LAI – Índice de Área Foliar (adimensional) e R. Est. – Resistência estomática mínima (s/m).

Figura 20 - Consumo relativo para aquecimento para as 1944 combinações paramétricas em Porto Alegre

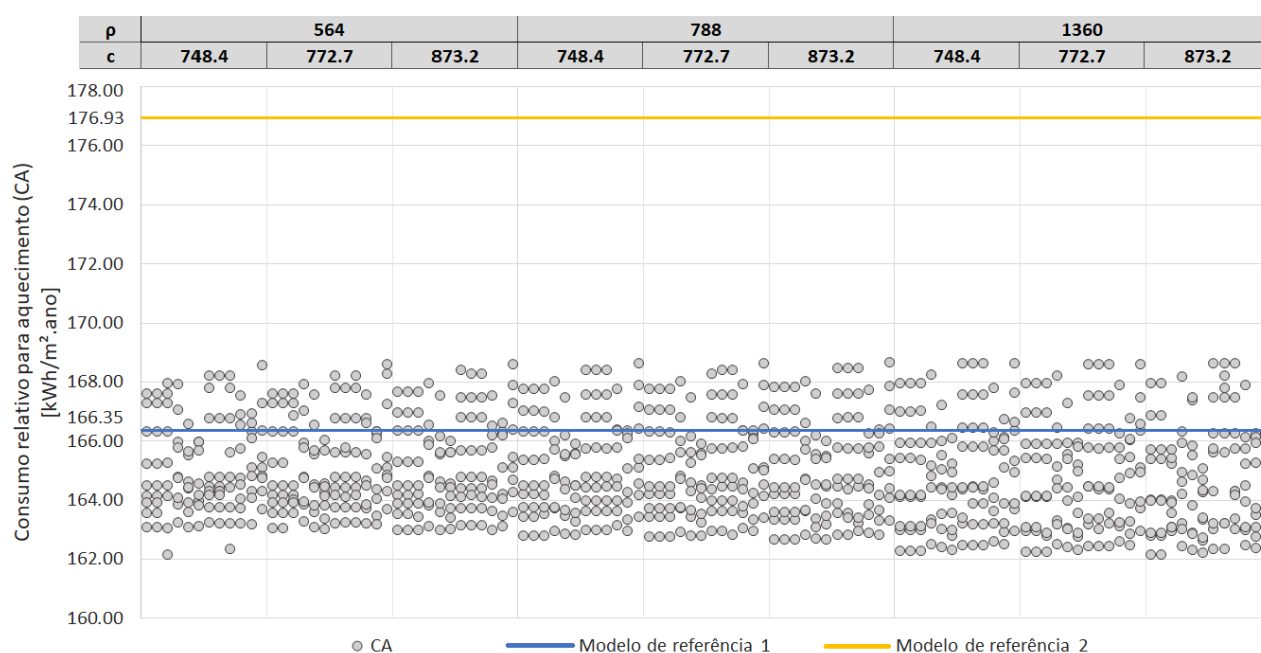


Fonte: A autora

Para Porto Alegre, o consumo relativo para aquecimento variou entre 162 kWh/m².ano até 173 kWh/m².ano. Observa-se que o aumento ou redução do consumo ocorre em blocos. O aumento da resistência estomática mínima, nos casos 81 a 161, 162 a 242 e assim por diante, não apresenta grande influência. Pode-se entender que o potencial de transpiração da vegetação não é um fator relevante para reduzir o consumo para aquecimento. A partir do caso 243 ocorre o aumento do índice de área foliar (LAI), seguindo a cada 243 simulações, até o valor máximo de 5,0. É nitidamente perceptível o deslocamento do consumo relativo para aquecimento com o incremento do parâmetro para 3 e 5. A utilização de um alto índice de área foliar concentrou 63,4% dos valores resultantes acima de 167 kWh/m².ano. Já os 70,7% resultados obtidos para o índice de área foliar de 0,12 e 1,26 foram menores que 166 kWh/m².ano. O estudo de Cascone et al. (2018) também demonstrou que a redução do consumo de energia no inverno estava ligada ao valor baixo do índice de área foliar. A altura da vegetação foi o último parâmetro alterado, referente à vegetação. O aumento de 0,10 m para 0,35 m da altura da vegetação nos casos 972 a 1944 não representou um parâmetro de grande influência no indicador, assim como a resistência estomática mínima.

As Figuras 21 e 22 demonstram a influência dos parâmetros do solo no consumo relativo para aquecimento. Os parâmetros representados no gráfico são: e – espessura do substrato (m), λ – condutividade térmica do substrato seco (W/m.K), ρ – densidade do substrato seco (kg/m³) e c – calor específico do substrato seco (J/kg.K). Para esta análise, foram utilizadas apenas os grupos de vegetação com o índice de área foliar de 0,12 e 1,26, por se tratarem da configuração com menor consumo.

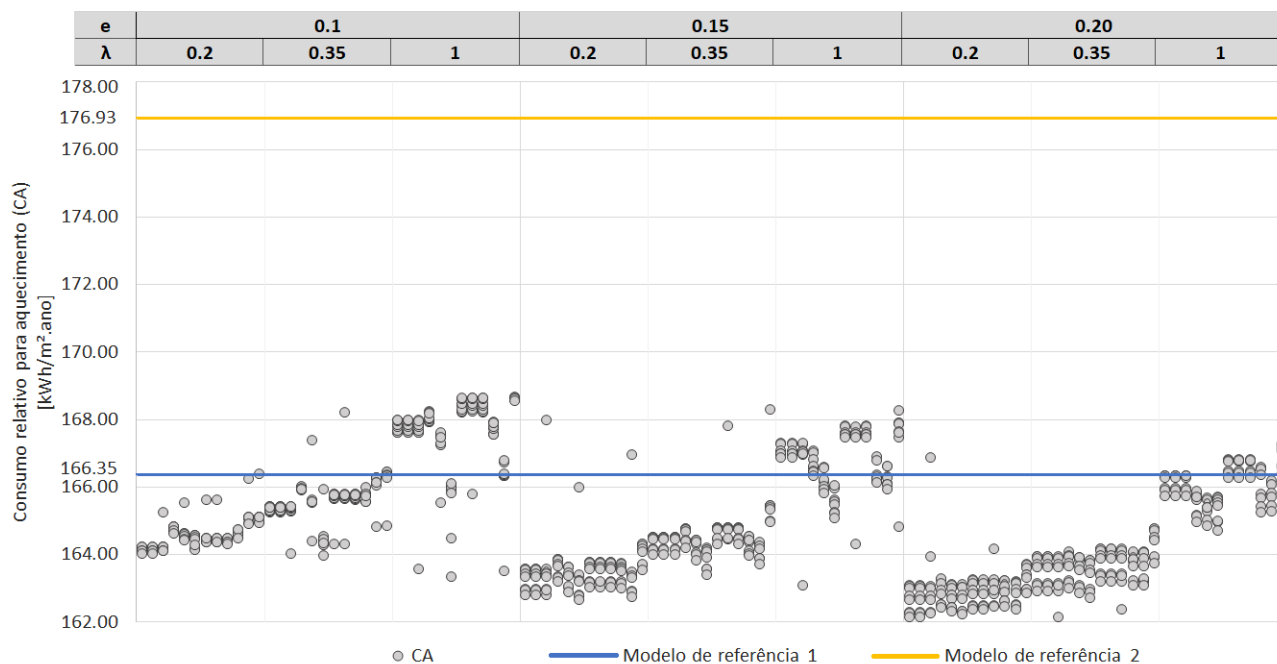
Figura 21 – Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros calor específico (c) e densidade do substrato seco (ρ) em Porto Alegre.



Fonte: A autora.

O primeiro parâmetro alterado foi o calor específico do substrato. Este parâmetro exerce maior influência no consumo relativo para aquecimento quando associado à baixa densidade. Entretanto, esta influência ocorre apenas quando associado a algumas variações de vegetação, com alteração de até 4 kWh/m².ano em alguns casos. O aumento da densidade do substrato seco levou a pequenas reduções do consumo relativo com aquecimento para os substratos com espessuras maiores. A redução foi de 0,37 e 0,69 kWh/m².ano para a espessura de 15 cm e 20 cm, respectivamente. No substrato raso de 10 cm a alteração desse parâmetro praticamente não alterou o consumo.

Figura 22 – Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros condutividade térmica (λ) e espessura do substrato (e).



Fonte: A autora.

As grandes alterações se deram pela elevação da condutividade térmica. Para a maior parte dos casos, o aumento da condutividade do substrato acarretou no aumento do consumo para aquecimento. A condutividade térmica está associada a resistência térmica de um componente construtivo incrementando as perdas e ganhos de calor ao ambiente quanto maior for o seu valor. Apenas 20% dos resultados obtidos foram menores que 166 kWh/m².ano, com condutividade térmica de 1,0 W/m.K. Vera et al. (2017) demonstraram em seu estudo que a condutividade térmica apresenta maior influência do que a massa térmica na transferência de calor através do substrato.

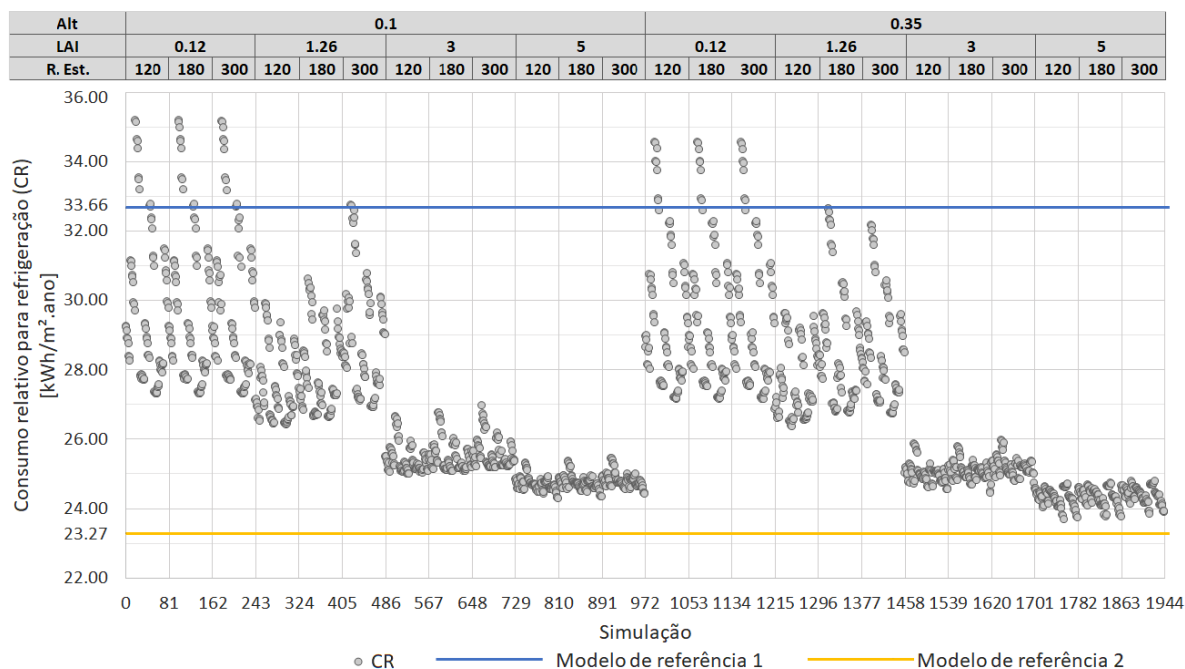
A alteração da espessura do substrato também influenciou de forma significativa em quase todos os casos. Pode-se observar que, ao aumentar a espessura do substrato ocorre uma redução no consumo de energia para aquecimento em todos os casos. Enquanto no substrato de 10 cm de espessura obteve-se como faixa de resultados de 163-168 kWh/m².ano, com 62,3% dos resultados abaixo de 166 kWh/m².ano, o aumento da espessura para 20 cm obteve a faixa de resultados de 162-167 kWh/m².ano, com 83% dos dados abaixo de 166 kWh/m².ano.

Dessa forma, foi possível verificar que para o consumo relativo para aquecimento a cobertura tradicional obteve melhor resultado do que a cobertura fria,

tornando-se o parâmetro de referência. Isso se deve à elevada refletância da cobertura fria que reduz a taxa de radiação solar absorvida reduzindo assim o ganho de calor no interior da edificação. Com relação às coberturas verdes, as combinações que apresentaram desempenho similar à cobertura tradicional em fibrocimento ou superior foram com vegetação baixa e menor índice de área foliar, que permite que o substrato fique mais exposto à radiação solar elevando sua temperatura. Além disso, o substrato mais espesso com menor condutividade térmica funciona como um isolante térmico reduzindo a perda de calor pela cobertura. Para o clima temperado de Porto Alegre o comportamento do substrato como uma camada isolante mostrou ser o fator diferencial para reduzir o consumo relativo para aquecimento. Jaffal et al. (2012) demonstraram que a utilização da cobertura verde reduziu da demanda energia para aquecimento no clima frio de Estocolmo e Bevilacqua et al. (2015) ressaltaram o melhor desempenho térmico do substrato mais espesso e a importância do isolamento térmico proporcionado para o inverno.

A Figura 23 apresenta os resultados para consumo relativo para refrigeração em função dos parâmetros da vegetação.

Figura 23 – Consumo relativo para refrigeração para as 1944 combinações paramétricas em Porto Alegre



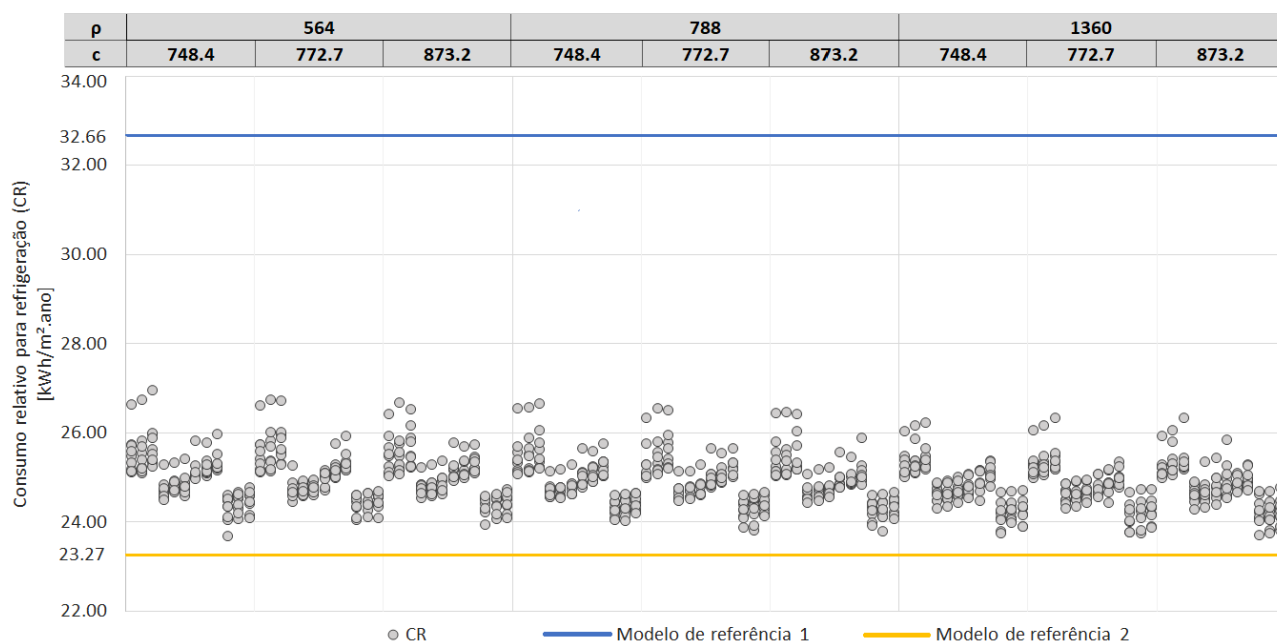
Fonte: A autora

O consumo relativo para refrigeração em Porto Alegre variou entre 23-35 kWh/m².ano para as tipologias de cobertura verde. Assim como para a condição de

aquecimento, o aumento redução dos dados ocorreu em blocos com grande influência do índice de área foliar. O aumento da resistência estomática mínima não apresenta grande influência para a maioria dos dados, com exceção das simulações 243 a 485, onde o aumento da resistência estomática de 120 para 300 alterou a faixa de consumo de 25-28 kWh/m².ano para 27-30 kWh/m².ano. Isso indica que para o índice de área foliar de 1,26, a redução do potencial de transpiração da vegetação acarreta no aumento do consumo relativo para refrigeração. A alteração do parâmetro do índice de área foliar para 3 e 5 provoca um nítido deslocamento no consumo para valores menores. A redução no consumo de energia para refrigeração em decorrência do aumento do índice de área foliar também pode ser observada nos estudos de Chan e Chow (2013), Dias (2016) e Vera et al. (2017). Também é possível verificar que a amplitude da faixa de consumo é menor, concentrando mais os resultados. Isso ocorre devido à redução da exposição do substrato à radiação solar e às trocas de calor com o entorno. O maior sombreamento permite que as temperaturas do substrato sejam menores, de modo que a transferência de calor para o interior da edificação seja reduzida. Quando o substrato está mais exposto, o consumo para refrigeração tende a aumentar. Pode-se entender que a influência da variação dos parâmetros do substrato vai reduzindo conforme o índice de área foliar aumenta. Até a simulação 81 a faixa de consumo está entre 27-31 kWh/m².ano, nas simulações 891 a 972 a faixa de consumo é de 24-25 kWh/m².ano. O aumento da altura da vegetação de 10 cm para 35 cm não representou um parâmetro de grande influência no consumo.

As Figuras 24 e 25 demonstram a influência dos parâmetros do solo no consumo relativo para refrigeração. Para esta análise, foram utilizadas apenas os grupos de vegetação com o índice de área foliar de 3 e 5, por se tratarem da configuração com menor consumo.

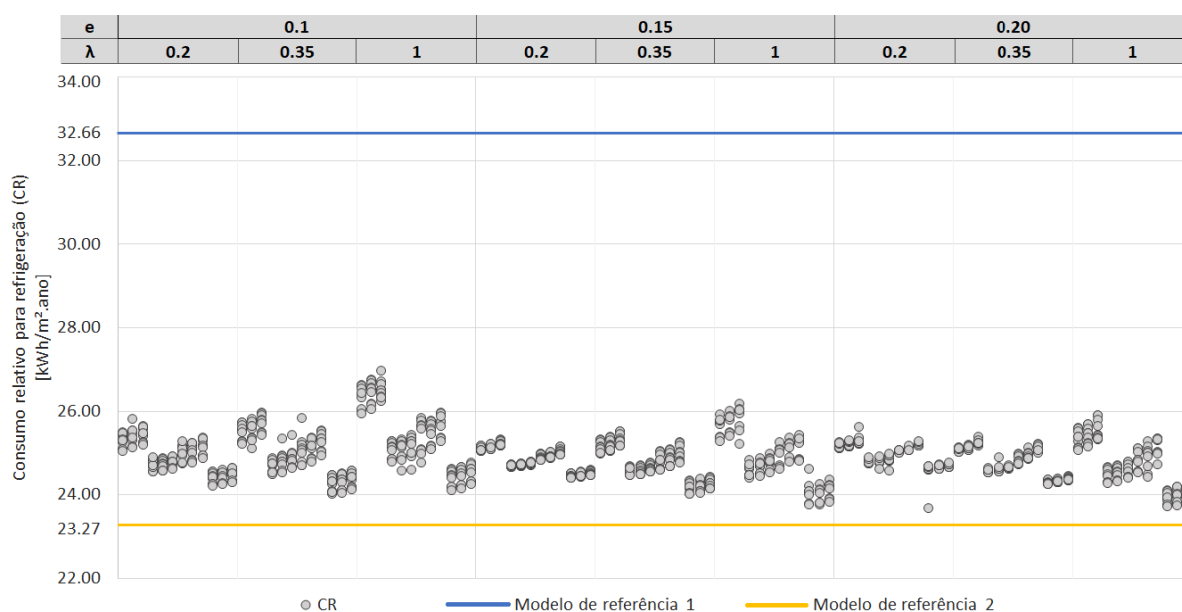
Figura 24 - Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros calor específico (c) e densidade do substrato seco (ρ) em Porto Alegre.



Fonte: A autora

O calor específico do substrato influenciou pouco no consumo relativo para refrigeração. Em média, a elevação desse parâmetro alterou o valor dos resultados em 0,08 kWh/m².ano. O aumento da densidade do substrato seco também foi pouco expressivo para a redução do consumo relativo para refrigeração.

Figura 25 - Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros condutividade térmica (λ) e espessura do substrato (e) em Porto Alegre.



Fonte: A autora.

Assim como no consumo relativo para aquecimento, as maiores alterações se deram pela elevação da condutividade térmica do substrato. O aumento da condutividade reduziu variabilidade dos resultados e a aproximou os resultados do modelo de referência 2 (cobertura fria), principalmente quando associada a maior espessura. A redução das faixas de consumo da menor condutividade para a maior foi de 25-26 kWh/m².ano para 24-26 kWh/m².ano, de 25 kWh/m² para 23,73-24,5 kWh/m².ano e de 24-25 kWh/m².ano para 23,72-24,5 kWh/m².ano, para as espessuras de substrato de 10 cm, 15 cm e 20 cm, respectivamente. A alteração da espessura do substrato influenciou em quase todos os casos. Assim como no consumo relativo para aquecimento, o aumento da espessura do substrato provoca um deslocamento vertical dos valores de consumo. Enquanto no substrato de 10 cm de espessura obteve-se como faixa de resultados de 24-26 kWh/m².ano, o aumento da espessura para 20 cm obteve a faixa de resultados de 23-25 kWh/m².ano. Resultados semelhantes podem ser observados no estudo de Chan e Chow (2013), em que o substrato mais espesso apresentou melhor desempenho térmico que o solo mais fino com a mesma vegetação.

A análise do consumo relativo para refrigeração demonstrou que a cobertura tradicional em fibrocimento obteve o pior desempenho e a cobertura fria favoreceu o menor consumo. Apesar de não apresentar nenhuma configuração com consumo relativo para refrigeração menor que a cobertura fria, diversas combinações de cobertura verde apresentaram desempenho semelhantes. A escolha da vegetação é o fator mais influente para o consumo relativo para refrigeração. As opções com menor resistência estomática e maior índice de área foliar são mais indicadas. A baixa resistência estomática caracteriza a maior capacidade evapotranspiração, proporcionando o efeito de resfriamento. O elevado índice de área foliar fornece o sombreamento permitindo que o substrato permaneça mais frio. É importante ressaltar que as simulações não foram configuradas com uma programação de irrigação, portanto a evaporação no substrato foi limitada à umidade contida no modelo.

A Tabela 19 apresenta os dez casos com menores e maiores níveis de consumo de energia elétrica com ar condicionado para a cidade de Porto Alegre.

Tabela 19 - Configurações dos parâmetros com menores e maiores valores de consumo relativo total para ar condicionado para Porto Alegre.

| Coberturas de Referência | | | | | | | | CA (kWh/m ² .ano) | CR (kWh/m ² .ano) | Total (kWh/m ² .ano) |
|---|------------|--------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 - Cobertura tradicional em fibrocimento | | | | | | | | 166.35 | 32.66 | 199,01 |
| 2 - Cobertura fria | | | | | | | | 176.93 | 23.27 | 200,20 |
| Coberturas verdes | | | | | | | | CA (kWh/m ² .ano) | CR (kWh/m ² .ano) | Total (kWh/m ² .ano) |
| ID | Vegetação | | | Substrato | | | | | | |
| | Alt (m) | LAI (adm) | R. est (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) | | | |
| Menores valores para consumo total | | | | | | | | | | |
| 306 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 | 162.44 | 26.61 | 189.05 |
| 304 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 | 162.52 | 26.55 | 189.07 |
| 305 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 | 162.53 | 26.57 | 189.09 |
| 387 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 | 162.32 | 26.85 | 189.17 |
| 1278 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 | 162.47 | 26.74 | 189.22 |
| 386 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 | 162.43 | 26.80 | 189.23 |
| 385 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 | 162.42 | 26.81 | 189.23 |
| 1276 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 | 162.63 | 26.65 | 189.28 |
| 303 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 | 162.84 | 26.47 | 189.31 |
| 1277 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 | 162.62 | 26.71 | 189.33 |
| Maiores valores para consumo total | | | | | | | | | | |
| 991 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 168.22 | 34.56 | 202.78 |
| 19 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 167.60 | 35.17 | 202.77 |
| 100 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 167.60 | 35.17 | 202.77 |
| 1071 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 | 168.22 | 34.55 | 202.77 |
| 1153 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 168.22 | 34.55 | 202.77 |
| 181 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 167.60 | 35.16 | 202.76 |
| 992 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 168.24 | 34.52 | 202.75 |
| 1072 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 168.24 | 34.51 | 202.75 |
| 20 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 167.62 | 35.13 | 202.75 |
| 101 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 167.62 | 35.13 | 202.75 |

Fonte: A autora.

Para o clima temperado de Porto Alegre, o consumo relativo para aquecimento representou mais do que 80% da energia consumida com ar condicionado. O consumo total da cobertura fria e tradicional se equiparam, com diferença de apenas 1,19 kWh/m².ano, pois enquanto a cobertura tradicional apresentou o consumo para aquecimento menor que a cobertura fria, esta compensou com a redução no consumo para refrigeração.

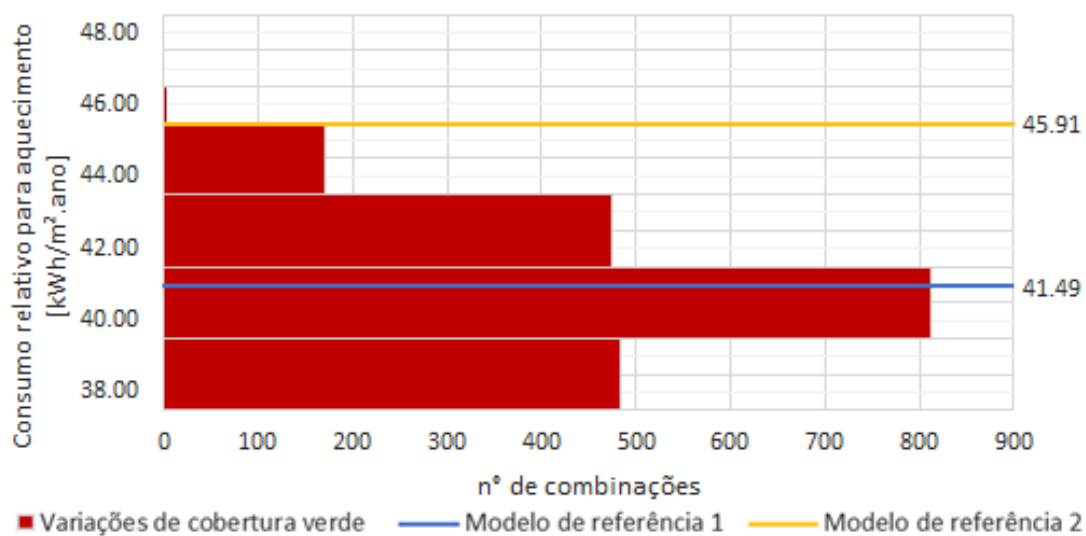
Foi possível observar que diferentes configurações de cobertura verde podem resultar na mesma faixa de consumo para aquecimento e refrigeração. Os melhores resultados para consumo de energia para ar condicionado apresentaram o consumo relativo para aquecimento na faixa de 162 kWh/m².ano, enquanto o consumo relativo para refrigeração ficou em 26 kWh/m².ano. Para esses casos, a redução no consumo para aquecimento foi cerca de 3% e 8% em relação à cobertura tradicional e fria, respectivamente. As configurações que apresentaram consumo de energia total mais elevado não foram as que apresentaram maiores valores de LAI como esperado, mas as que apresentaram valores menores e elevada transmitância térmica e baixa espessura no substrato, elevando significativamente o consumo relativo para refrigeração.

Em resumo, considerando o elevado consumo de energia elétrica para aquecimento na cidade de Porto Alegre, o emprego de um substrato espesso se comporta como uma camada de isolante na cobertura, impedindo que o calor se dissipe através da cobertura. O índice de área foliar baixo (1,26) permite que o substrato seja exposto à radiação solar aumentando sua temperatura. O baixo valor de resistência estomática mínima, permite que, durante o período quente, a vegetação proporcione o efeito de resfriamento através da evapotranspiração.

4.2.2 Brasília

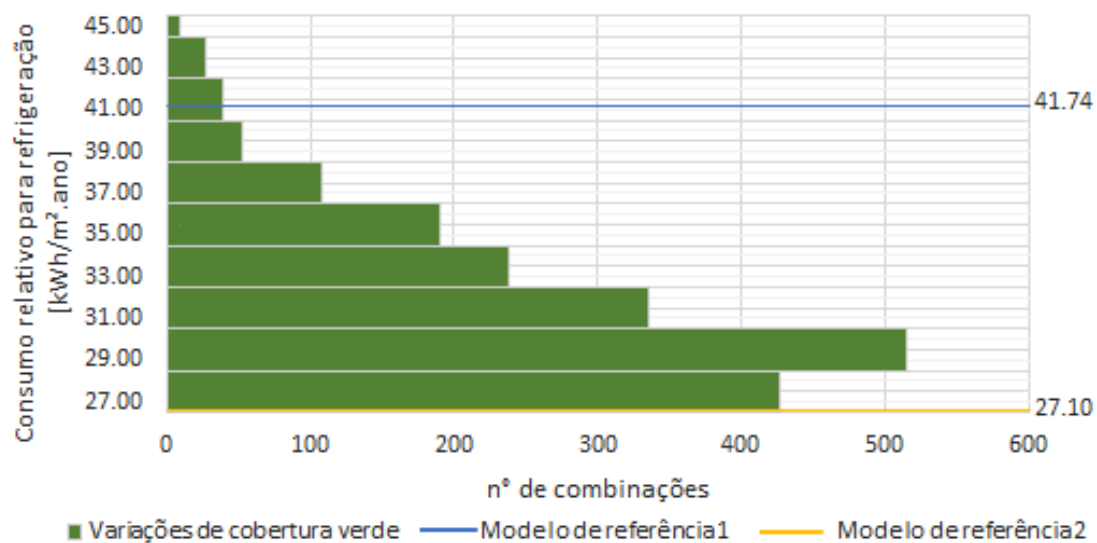
As Figuras 26 e 27 apresentam a quantidade de casos obtidos em cada faixa de consumo relativo para aquecimento e refrigeração para os 1944 casos analisados para o clima tropical semiúmido da cidade de Brasília.

Figura 26 - Quantidades de casos para consumo relativo para aquecimento em Brasília.



Fonte: A autora

Figura 27 - Quantidades de casos para consumo relativo para refrigeração em Brasília.



Fonte: A autora

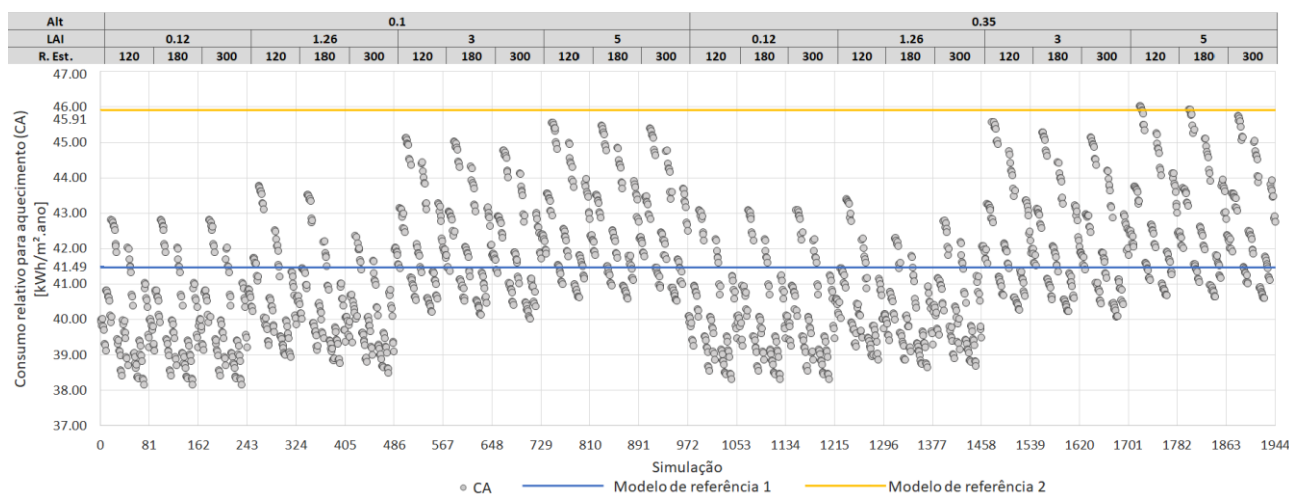
Para o consumo relativo para aquecimento em Brasília, apresentado na

Figura 26, obteve-se valores de 41,49 kWh/m².ano e 45,91 kWh/m².ano para a cobertura tradicional em fibrocimento (modelo de referência 1) e cobertura fria (modelo de referência 2), respectivamente. Analisando os resultados das variações de cobertura verde dentro de faixas de consumo, obteve-se 905 combinações de coberturas verdes com consumo relativo para aquecimento abaixo de 41 kWh/m².ano (modelo de referência 1) e apenas 6 casos com consumo maior que o modelo de referência 2.

Para o consumo relativo para refrigeração, obteve-se valores de 41,74 kWh/m².ano e 27,10 kWh/m².ano para a cobertura tradicional em fibrocimento (modelo de referência 1) e cobertura fria (modelo de referência 2), respectivamente, como pode ser observado na Figura 27. E, obteve-se 427 combinações de coberturas verdes com consumo relativo para refrigeração na faixa de entre 27,20-28 kWh/m².ano. 39 casos apresentaram consumo relativo para refrigeração entre 41-42 kWh/m².ano, mesma faixa de consumo do modelo de referência 1. 57 casos apresentaram consumo acima de 41,74 kWh/m².ano. A faixa mais frequente de consumo para refrigeração foi de 29-30 kWh/m².ano, com 515 combinações. Assim como para Porto Alegre, a cobertura fria apresentou o menor consumo relativo para refrigeração, entretanto diferentes configurações de cobertura verde obtiveram desempenho semelhante.

A Figura 28 apresenta os resultados para consumo relativo para aquecimento em função dos parâmetros da vegetação.

Figura 28 - Consumo relativo para aquecimento para as 1944 combinações paramétricas em Brasília.

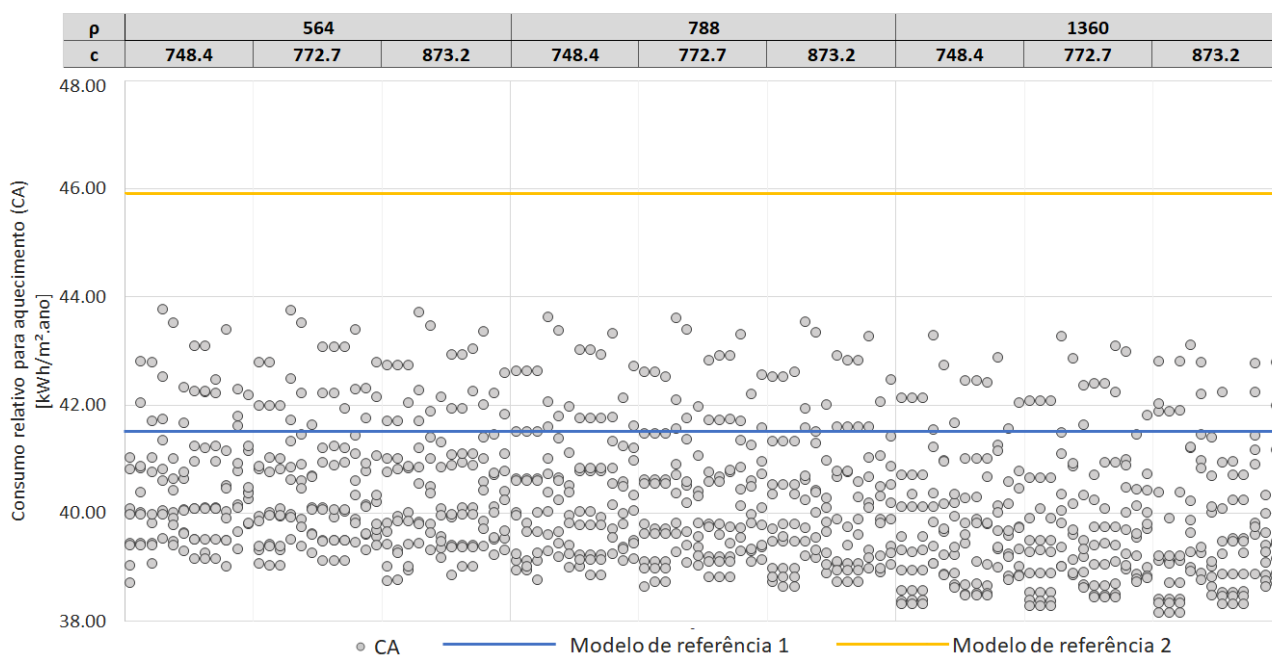


Fonte: A autora.

O consumo relativo para aquecimento variou entre 38 e 46 kWh/m².ano em Brasília. Assim como em Porto Alegre, o aumento ou redução do consumo ocorreu em blocos. O aumento da resistência estomática mínima provoca a redução no consumo relativo para aquecimento, porém de forma pouco expressiva. A redução máxima da faixa de consumo foi cerca de 0,30 kWh/m².ano. Portanto, o potencial de transpiração da vegetação não é um parâmetro influente para reduzir o consumo para aquecimento. A mesma relação entre o aumento do índice de área foliar e o aumento do consumo relativo para aquecimento que ocorreu em Porto Alegre pode ser observada no clima de Brasília. A Figura 28 demonstra a nitidamente a divisão dos dados em dois grupos, um com o índice de área foliar de 0,12 e 1,26 e outro com 3 e 5. No primeiro grupo, com o índice mais baixo, 75,3% das simulações obtiveram o consumo abaixo de 41 kWh/m².ano contra 17,8% dos casos com índice de área foliar de 3 e 5. 54% das simulações com índices de área foliar de 3 e 5 apresentaram resultados acima de 42 kWh/m².ano. A diferença entre as médias de consumo das simulações com o índice de 0,12 e 1,26 e das simulações de índice 3 e 5 foi de 2,23 kWh/m², enquanto a diferença entre as médias dentro dos próprios grupos foi de no máximo 0.6 kWh/m².ano. Observando a distribuição das simulações no gráfico e as diferenças entre as médias, pode-se concluir que o maior impacto foi a alteração do índice de área foliar de 1,26 para 3. A altura da vegetação não representou um parâmetro de grande influência com a diferença entre as médias de consumo de 0,09 kWh/m².ano.

As Figuras 29 e 31 demonstram a influência dos parâmetros do solo no consumo relativo para aquecimento.

Figura 29 - Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros calor específico e densidade do substrato seco em Brasília.



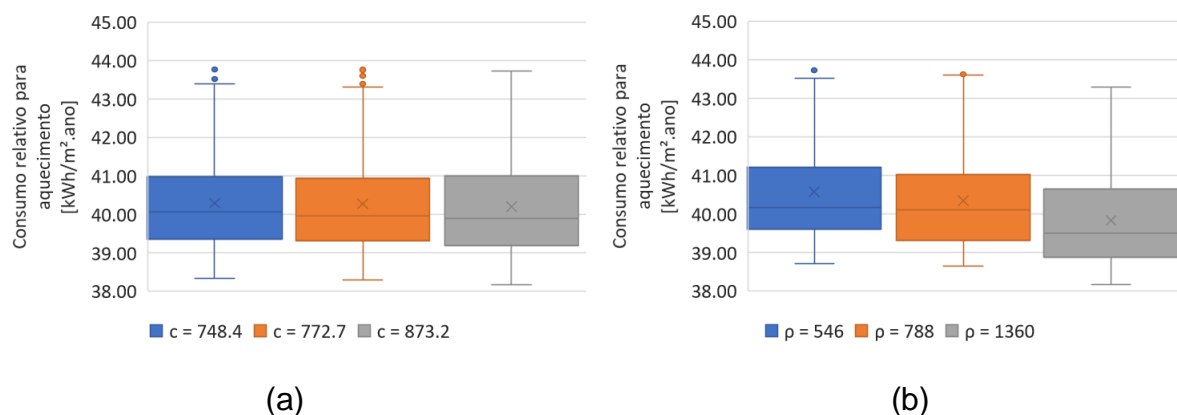
Fonte: A autora.

O calor específico, assim como a resistência estomática mínima da vegetação, não é um parâmetro que influencia o consumo relativo para aquecimento. Sua variação promoveu alterações nas médias de consumo que atingiram 0,1 kWh/m².ano.

Para auxiliar na compreensão mais clara sobre a influência da variação dos parâmetros de entrada sobre os resultados, para cada parâmetro foi realizada uma análise de distribuição de frequência em quartis, por meio de diagramas de caixa (Figura 30). Foram utilizadas apenas os grupos de vegetação com menor consumo, portanto com o índice de área foliar de 0,12 e 1,26.

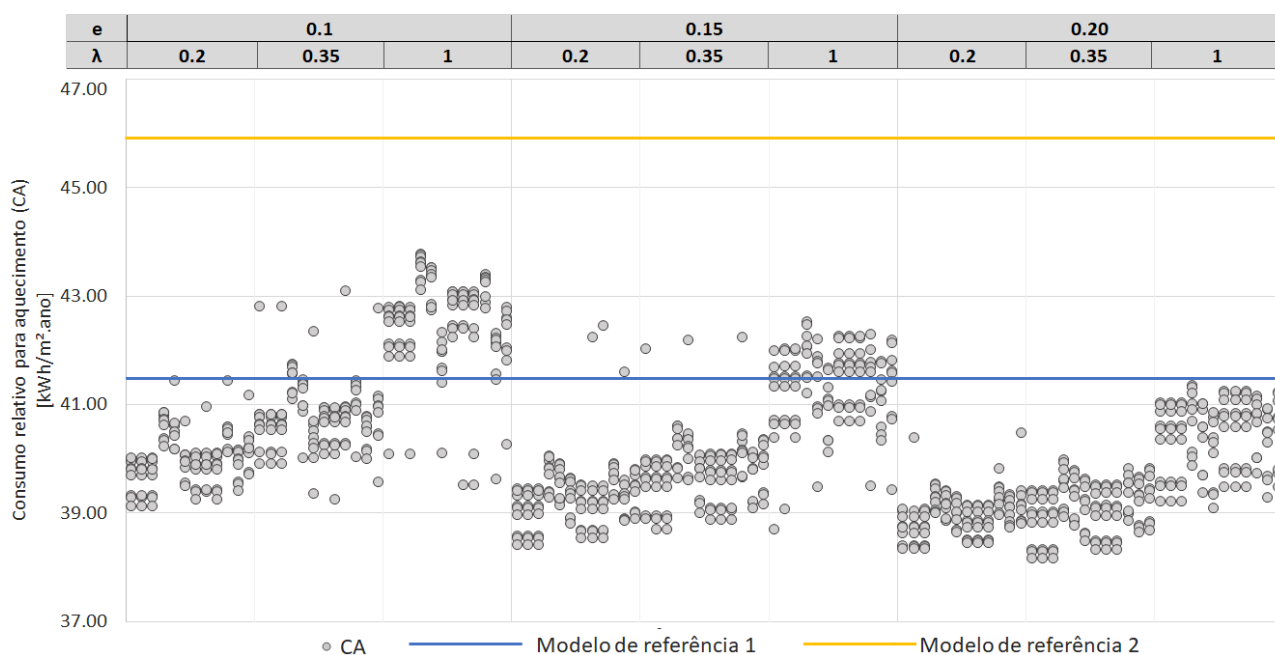
Pode-se observar na Figura 30, que 50% dos valores de consumo ficaram concentrados na faixa de 39-40 kWh/m².ano independentemente do calor específico do substrato. O aumento da densidade do substrato seco surtiu pequenas reduções do consumo relativo com aquecimento. A alteração na densidade de 546 kg/m³ para 1360 kg/m³ reduziu a média do consumo para aquecimento em 0,74 kWh/m².ano e a faixa de consumo foi de 39-41 kWh/m².ano para 38-40 kWh/m².ano para 50 % dos resultados.

Figura 30 – (a) resultados para aquecimento variando o calor específico (c) e (b) resultados para aquecimento variando a densidade (ρ) em Brasília.



Fonte: A autora

Figura 31 - Consumo relativo para aquecimento para os parâmetros condutividade térmica e espessura do substrato seco em Brasília.

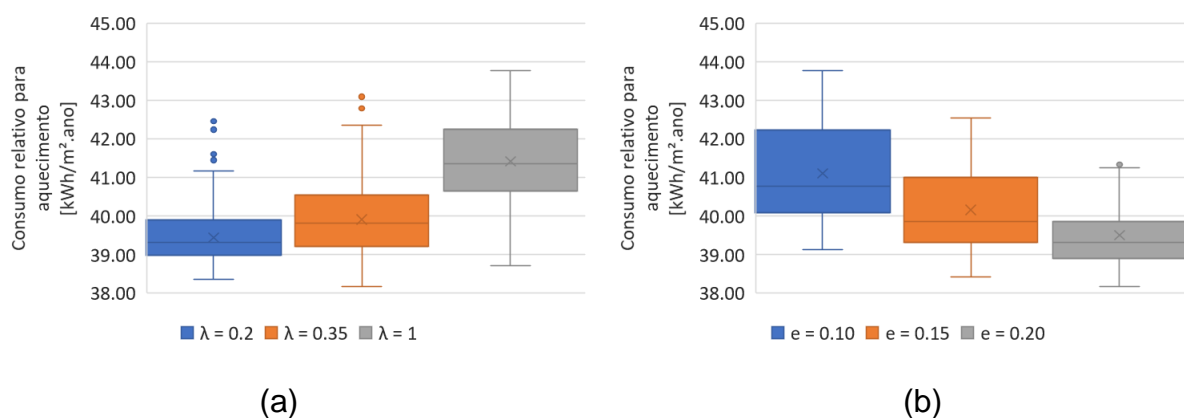


Fonte: A autora

Observa-se na Figura 31, que os resultados das simulações mostraram maior sensibilidade às alterações dos parâmetros condutividade térmica e espessura do substrato. O aumento da condutividade do substrato resultou no aumento da média do consumo para aquecimento em até 2 kWh/m².ano. O substrato com condutividade de 0,2 W/m.K e 0,35 W/m.K apresentaram 98% e 90% dos resultados obtidos menores que 41 kWh/m².ano, respectivamente. Em valores absolutos, foram 318 combinações para condutividade de 0,2 e 293 para condutividade de 0,35. Enquanto 37% dos resultados do substrato de condutividade térmica de 1,0 W/m.K foram

menores que 41 kWh/m².ano. Observa-se na Figura 32 que as faixas de consumo para aquecimento de 50% dos dados foram de 38-39 kWh/m².ano, 39-40 kWh/m².ano e 40-42 kWh/m².ano para os valores de condutividade 0,2; 0,35 e 1,0 W/m.K, respectivamente.

Figura 32 – (a) resultados para aquecimento variando a condutividade térmica (λ) em Brasília e (b) resultados para aquecimento variando a espessura do substrato (e) em Brasília.



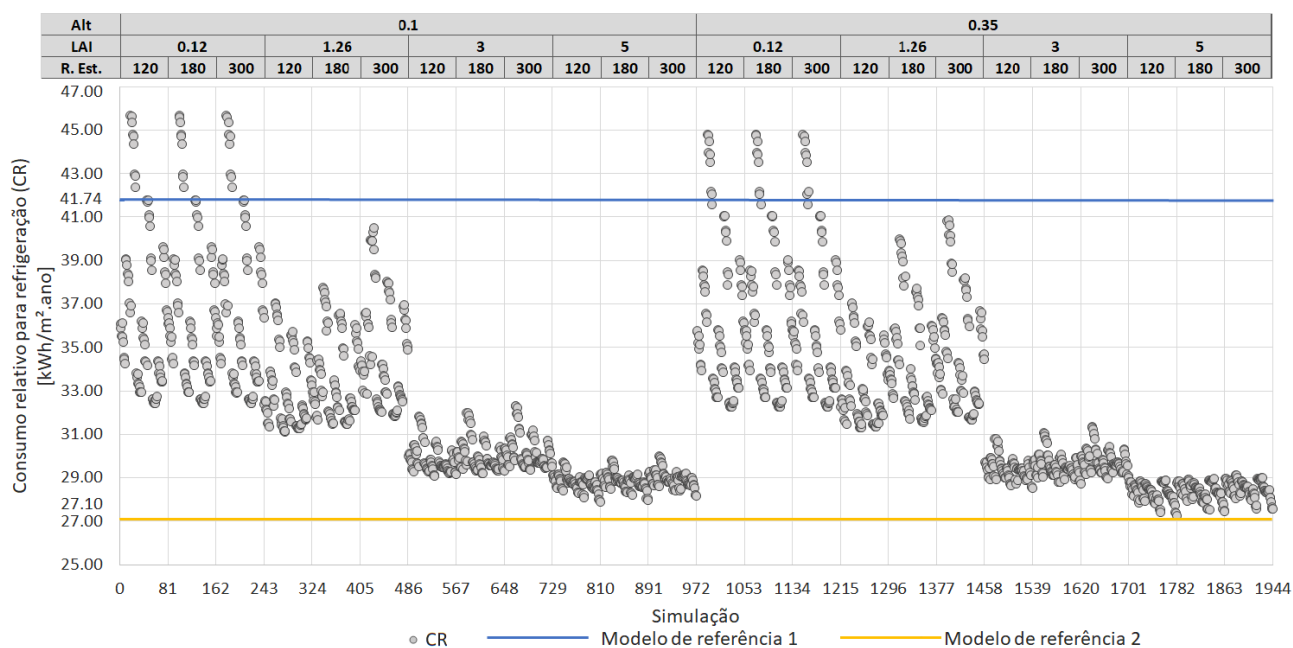
Fonte: A autora.

A alteração da espessura provocou um deslocamento vertical dos valores de consumo, como ocorreu em Porto Alegre. A Figura 32 demonstra que para o substrato de 10 cm de espessura obteve-se como faixa de consumo em 50% dos resultados os valores 40-42 kWh/m².ano, aumentando a espessura para 20 cm obteve a faixa de resultados de 38-39 kWh/m².ano e 90% dos dados abaixo de 40 kWh/m².ano, cerca de 297 combinações.

Observa-se que a influência dos parâmetros de vegetação e substrato das coberturas verdes no consumo relativo para aquecimento é bastante semelhante em Brasília e Porto Alegre, mesmo com valores absolutos muito diferentes. Em geral, os casos com menores consumos de energia para aquecimento foram aqueles com baixo índice de área foliar e substrato espesso com baixa condutividade térmica.

A Figura 33 apresenta os resultados para consumo relativo para refrigeração em função dos parâmetros da vegetação.

Figura 33 - Consumo relativo para refrigeração para as 1944 combinações paramétricas em Brasília.



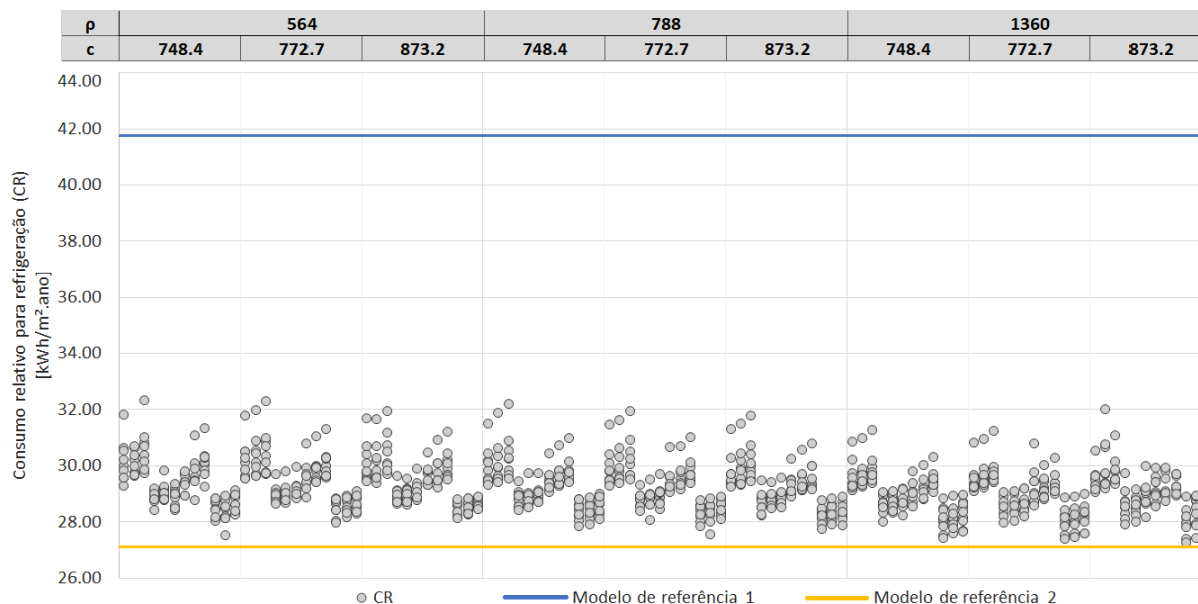
Fonte: A autora

O consumo relativo para refrigeração em Brasília variou entre 27,27-45 kWh/m².ano para as tipologias de cobertura verde. O aumento da resistência estomática mínima não apresenta grande influência para a maioria dos dados, a faixa de consumo para refrigeração foi de 27,27-41, 27,44-42 e 27,58-43 kWh/m².ano para as combinações com resistência estomática 120, 180 e 300 s/m, respectivamente. O mesmo comportamento de redução do consumo relativo para refrigeração com o aumento do índice de área foliar que ocorreu em Porto Alegre, ocorreu em Brasília. Observa-se na Figura 33 a separação de dois grupos – o primeiro com índice de área foliar 0,12 e 1,26 e outro com valores de 3 e 5 – e o adensamento dos resultados. Para menores valores de LAI a faixa de consumo foi de 32-45 kWh/m².ano, com o aumento do índice de área foliar para 5, a faixa de consumo foi de 27,39-29 kWh.m².ano. 83% dos resultados resultantes com índice de área foliar 5 – 404 combinações – apresentaram faixa de consumo de 27,27-28 kWh/m².ano. O aumento da altura da vegetação de 10 cm para 35 cm não representou um parâmetro de grande influência no consumo com redução na média dos resultados de 0,28 kWh/m².ano. Entretanto, os menores consumos para refrigeração se deram quando combinado a altura de 35 cm com LAI 5,0.

A influência dos parâmetros do solo no consumo relativo para refrigeração pode ser observada nas Figuras 34 e 36. Para esta análise, foram utilizadas apenas

os grupos de vegetação com o índice de área foliar de 3 e 5, por se tratarem da configuração com menor consumo.

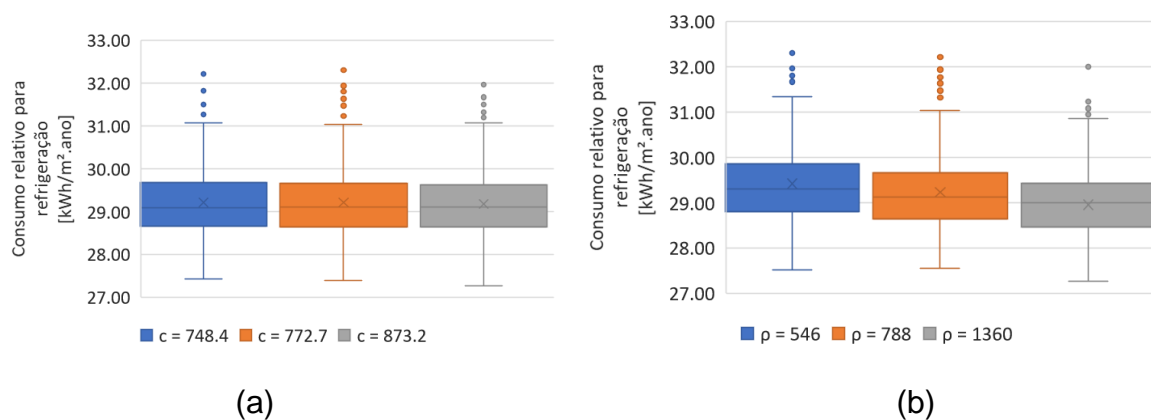
Figura 34 - Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros calor específico e densidade do substrato seco em Brasília.



Fonte: A autora

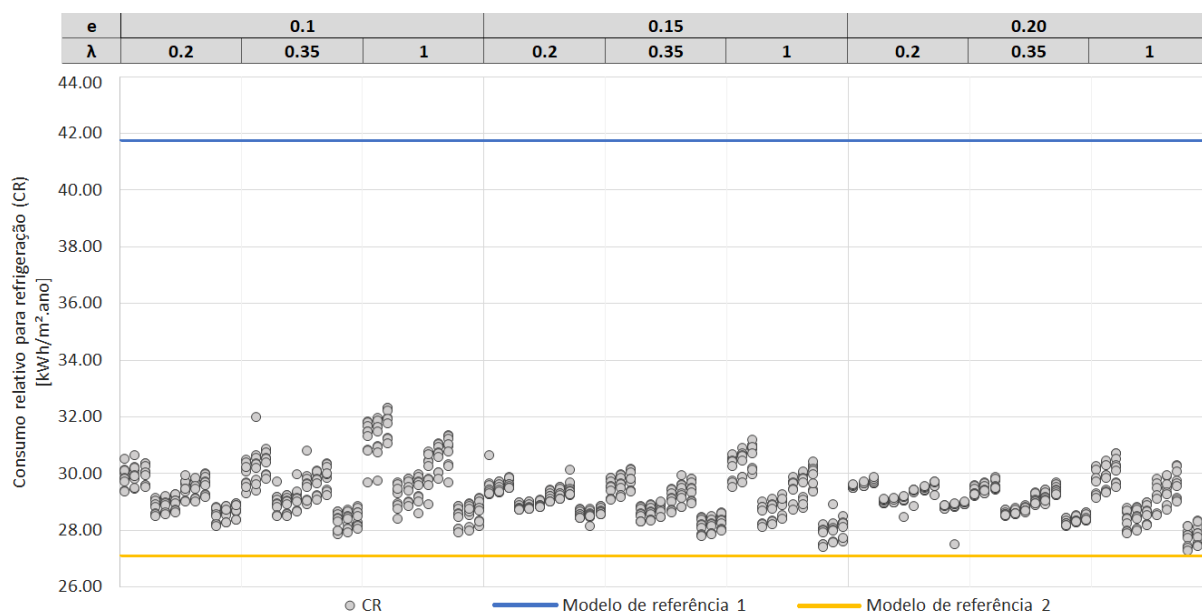
A alteração do parâmetro calor específico nas simulações quase não surtiu efeitos no consumo relativo para refrigeração. Verifica-se na Figura 35, que mesmo com o aumento do calor específico do substrato, 50% dos valores de consumo ficaram concentrados em faixas idênticas. O efeito do aumento da densidade do substrato seco provocou reduções pouco expressivas nos resultados, que pode ser observado na Figura 35. A faixa de consumo para 50% dos resultados reduziu cerca de 0,4 kWh/m².ano com a alteração na densidade de 546 kg/m³ para 1360 kg/m³.

Figura 35 – (a) resultados para refrigeração variando o calor específico (c) e (b) resultados para refrigeração variando a densidade do substrato (ρ) em Brasília.



Fonte: A autora

Figura 36 - Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros condutividade térmica e espessura do substrato seco em Brasília.

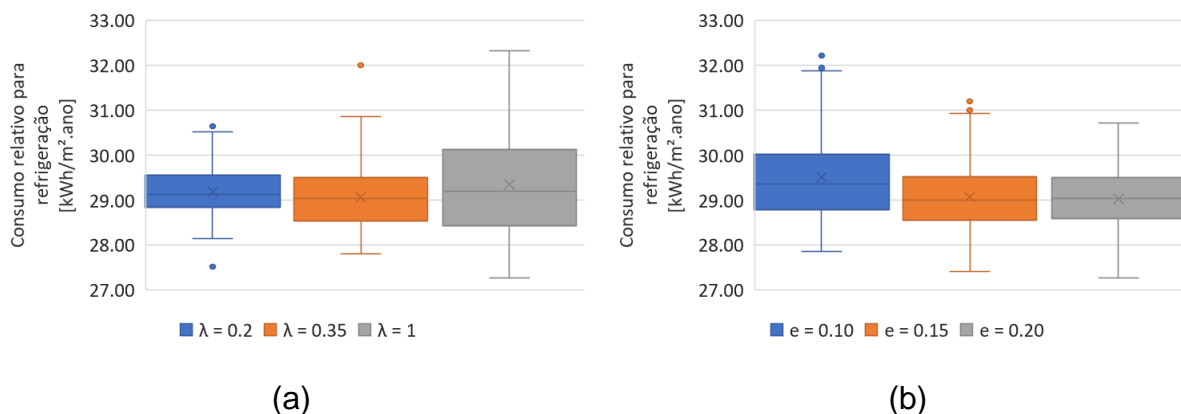


Fonte: A autora

O aumento da condutividade do substrato aproximou os resultados do modelo de referência 2 (cobertura fria). Observando a Figura 36, nota-se o deslocamento vertical dos dados com a alteração do parâmetro. Também é possível verificar que no substrato mais fino com a condutividade térmica mais elevada, ocorre maior variabilidade dos resultados. Este efeito é confirmado na Figura 37, em que a faixa de consumo de 50% dos dados é de 28-30 kWh/m².ano quando o valor da condutividade é de 1,0 W/m.K, enquanto para os parâmetros de 0,2 e 0,35 W/m.K, as faixas de consumo são de 28-29 kWh/m².ano. Dessa forma, pode-se compreender

que a combinação de um substrato fino com alta condutividade está mais sujeito à influência da vegetação e das condições climáticas.

Figura 37 - (a) resultados para refrigeração variando a condutividade térmica (λ) e (b) resultados para refrigeração variando a espessura do substrato (e) em Brasília..



Fonte: A autora

O aumento da espessura do substrato favoreceu um efeito menos evidente para o consumo relativo para refrigeração do que para aquecimento. A Figura 37 mostra que o aumento da espessura de 10 cm para 15 cm reduziu a média dos resultados em 0,44 kWh/m².ano e a faixa de consumo de 50% dos resultados de 28-30 kWh/m².ano para 28-29 kWh/m².ano. Já a alteração de 15 cm para 20 cm não apresentou praticamente nenhuma alteração nos dados.

A influência dos parâmetros da vegetação no desempenho da cobertura verde para o consumo relativo para refrigeração foi semelhante ao que ocorreu em Porto Alegre. Quanto ao substrato, as reduções no consumo para refrigeração com o aumento da espessura foram mais evidentes em Porto Alegre do que em Brasília.

A Tabela 20 apresenta os dez casos com melhores desempenho para o consumo de energia elétrica com ar condicionado para a cidade de Brasília.

Tabela 20 - Configurações dos parâmetros com menores valores de consumo relativo total para ar condicionado para Brasília.

| Coberturas de Referência | | | | | | | | CA (kWh/m ² .ano) | CR (kWh/m ² .ano) | Total (kWh/m ² .ano) |
|---|------------|--------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 - Cobertura tradicional em fibrocimento | | | | | | | | 41.49 | 41.74 | 83.23 |
| 2 - Cobertura fria | | | | | | | | 45.91 | 27.10 | 73.01 |
| Coberturas verdes | | | | | | | | CA (kWh/m ² .ano) | CR (kWh/m ² .ano) | Total (kWh/m ² .ano) |
| ID | Vegetação | | | Substrato | | | | | | |
| | Alt (m) | LAI (adm) | R. est (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) | | | |
| Menores valores para consumo total | | | | | | | | | | |
| 1773 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 | 41.26 | 28.18 | 69.45 |
| 1854 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 | 41.17 | 28.30 | 69.47 |
| 1853 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 | 41.21 | 28.27 | 69.49 |
| 1772 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 | 41.35 | 28.15 | 69.50 |
| 1935 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 | 41.12 | 28.38 | 69.50 |
| 1934 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 | 41.17 | 28.35 | 69.51 |
| 1771 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 | 41.34 | 28.18 | 69.52 |
| 1737 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 | 41.12 | 28.43 | 69.55 |
| 1933 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 | 41.21 | 28.34 | 69.55 |
| 1852 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 | 41.26 | 28.29 | 69.55 |
| Majores valores para consumo total | | | | | | | | | | |
| 18 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 | 42.81 | 45.68 | 88.49 |
| 100 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 42.81 | 45.67 | 88.49 |
| 180 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 | 42.81 | 45.67 | 88.49 |
| 20 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 42.80 | 45.62 | 88.42 |
| 101 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 42.80 | 45.61 | 88.41 |
| 181 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 42.80 | 45.61 | 88.41 |
| 21 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 | 42.75 | 45.35 | 88.10 |
| 102 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 | 42.75 | 45.34 | 88.09 |
| 183 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 | 42.75 | 45.34 | 88.09 |
| 991 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 43.09 | 44.81 | 87.90 |

Fonte: A autora

Para o clima tropical semiúmido de Brasília, o consumo total de energia elétrica com ar condicionado é equilibrado pelo consumo para aquecimento e refrigeração devido à sazonalidade. O consumo total da cobertura fria foi 10,22 kWh/m².ano menor que a cobertura tradicional em fibrocimento, devido à alta refletância solar e menor absorção de radiação solar.

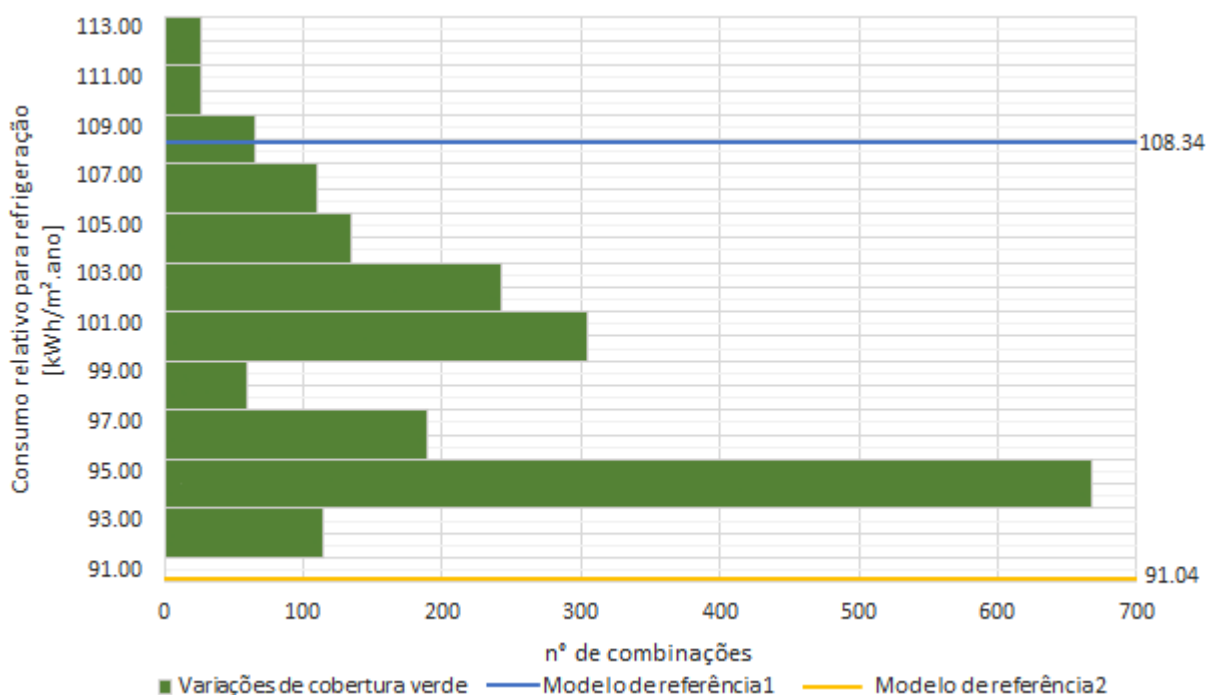
Em resumo, para a cidade de Brasília, as soluções em cobertura verde consideram as variações pertinentes ao consumo para refrigeração e aquecimento de uma forma mais equilibrada, quando comparada com o clima de Porto Alegre. Desse modo, a vegetação com elevado índice de área foliar, a qual permite o sombreamento no substrato e redução da sua temperatura superficial, é uma estratégia a ser priorizada para o clima de Brasília. A altura de 0,35 cm da vegetação associada ao elevado índice de área foliar cria uma barreira de proteção, reduzindo as trocas de calor entre o substrato e o entorno, segundo Dias (2016). O substrato espesso, com densidade elevada, combinado com alto LAI (sombreamento) torna-se uma estratégia passiva com elevada massa térmica de resfriamento, diferentemente de Porto Alegre, onde o substrato espesso combinado com baixo LAI atua como isolante (massa térmica para aquecimento).

Observa-se que as combinações com os piores resultados relativos ao consumo de energia anual total são as que apresentam as características de vegetação baixa com baixo LAI e substrato fino com elevada transmitância térmica. Essas combinações apresentaram tanto o consumo para aquecimento quanto para refrigeração elevados.

4.2.3 São Luís

Para o clima de São Luís não foi analisado o consumo relativo para aquecimento, devido à alta temperatura ao longo do ano. A Figura 38 demonstra a quantidade de casos obtidos em cada faixa de consumo relativo para refrigeração para os 1944 casos analisados.

Figura 38 - Quantidades de casos para consumo relativo para refrigeração em São Luís.

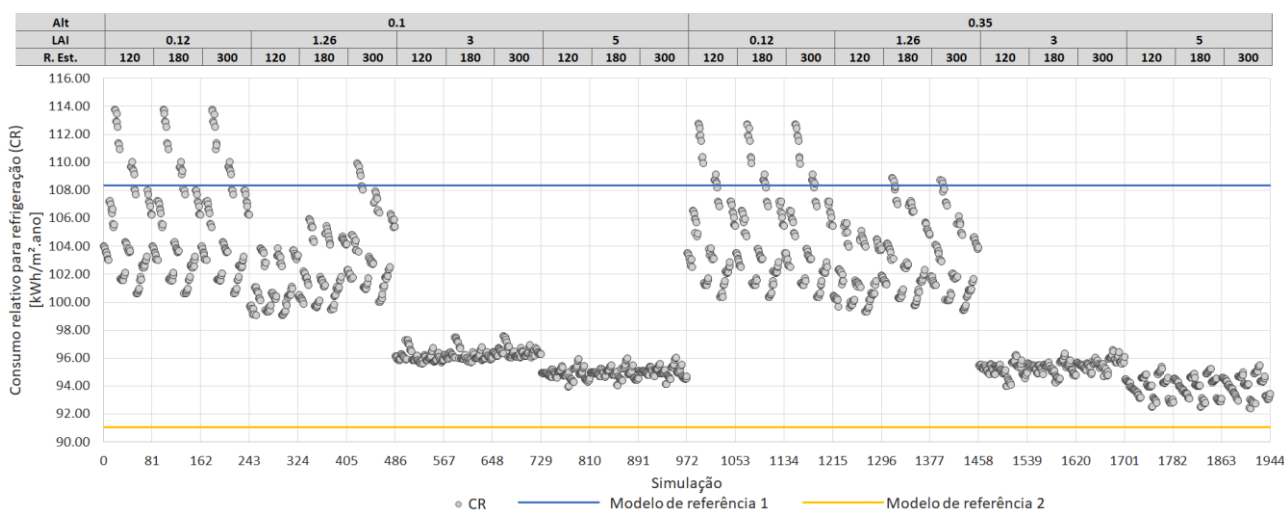


Fonte: A autora

A cobertura tradicional em fibrocimento (modelo de referência 1) e cobertura fria (modelo de referência 2) obtiveram o consumo relativo para refrigeração de 108,34 e 91,04 kWh/m².ano, respectivamente. A faixa de consumo de 94-96 kWh/m².ano foi a que obteve maior número de combinações. 65 combinações apresentaram consumo relativo para refrigeração entre 108-110 kWh/m².ano, mesma faixa de consumo do modelo de referência 1. Assim como em Porto Alegre e Brasília, a cobertura fria apresentou o menor consumo relativo para refrigeração.

Os dados para consumo relativo para refrigeração em função dos parâmetros da vegetação podem ser observados na Figura 39.

Figura 39 - Consumo relativo para refrigeração para as 1944 combinações paramétricas em São Luís.

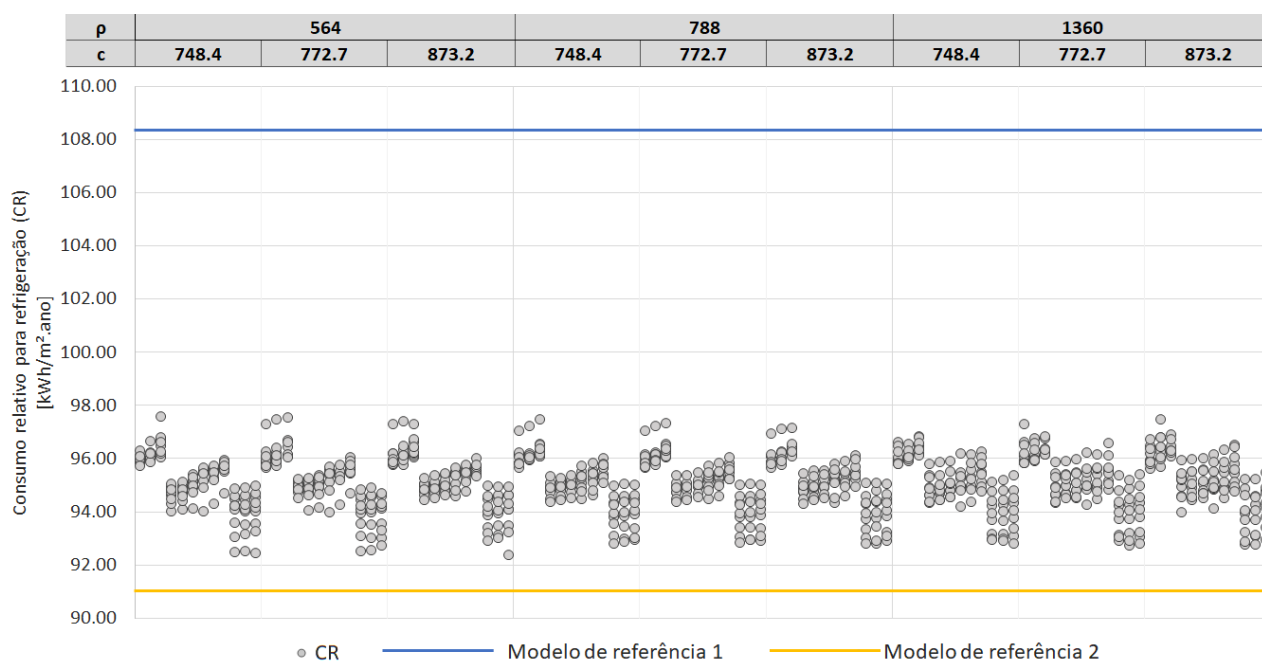


Fonte: A autora

O consumo relativo para refrigeração em São Luís variou de 92,39 a 113,78 kWh/m².ano para as variações de cobertura verde. O consumo para refrigeração foi de 92-113 kWh/m².ano em todas as variações de resistências estomáticas e as médias foram 99,15; 99,49 e 99,73 kWh/m².ano para as combinações com resistência estomática 120, 180 e 300 s/m, respectivamente. Portanto, pode-se concluir que a resistência estomática mínima não é um parâmetro influente para o consumo relativo para refrigeração em São Luís. Assim como nas duas cidades já analisadas, novamente percebe-se a divisão em dois grandes grupos com o aumento do índice de área foliar de 0,12 e 1,26 para 3,0 e 5,0, bem como a redução na amplitude dos resultados. As faixas de resultados foram 100-113, 99-109, 94-97 e 92-96 kWh/m².ano para as simulações com índice de área foliar 0,12; 1,26; 3,0 e 5,0, respectivamente. A amplitude dos resultados das combinações foram de 13 e 10 kWh/m².ano para 3 e 4 kWh/m².ano com o aumento do parâmetros. Isso indica que, com o aumento do sombreamento, os parâmetros do substrato são menos influentes. 75% das combinações com índice de área foliar 5,0 apresentaram consumo abaixo de 95kWh/m².ano. A altura da vegetação apresenta pouca influência no modelo. A amplitude dos resultados aumentou em 0,56 kWh/m².ano com o aumento da altura da vegetação e a média reduziu de 99,72 para 99,19 kWh/m².ano. Apenas quando associada ao índice de área foliar igual a 5,0, a altura da vegetação apresentou maior influência, aproximando o consumo de energia da cobertura verde ao consumo da cobertura fria.

A influência dos parâmetros do solo no consumo relativo para refrigeração pode ser observada nas Figura 40 e Figura 42 utilizando os grupos de vegetação com o índice de área foliar de 3 e 5.

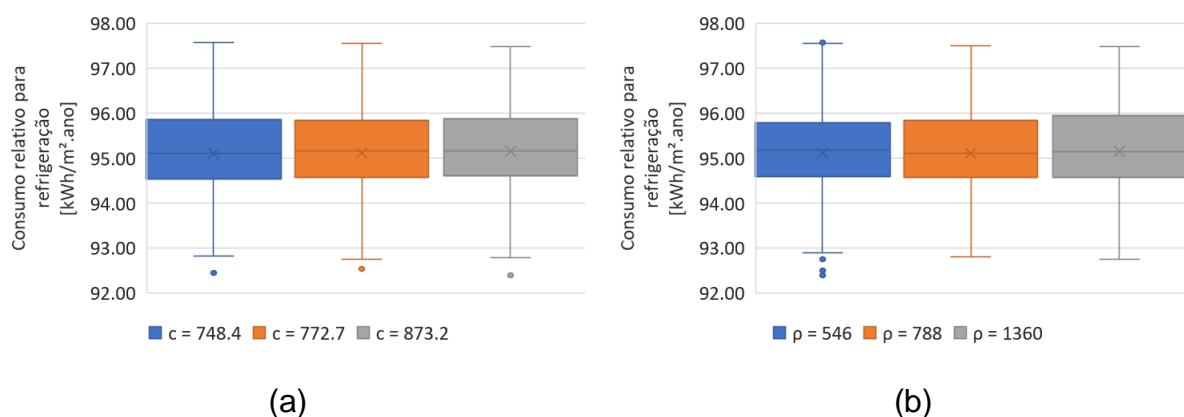
Figura 40 - Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros calor específico e densidade do substrato seco em São Luís.



Fonte: A autora

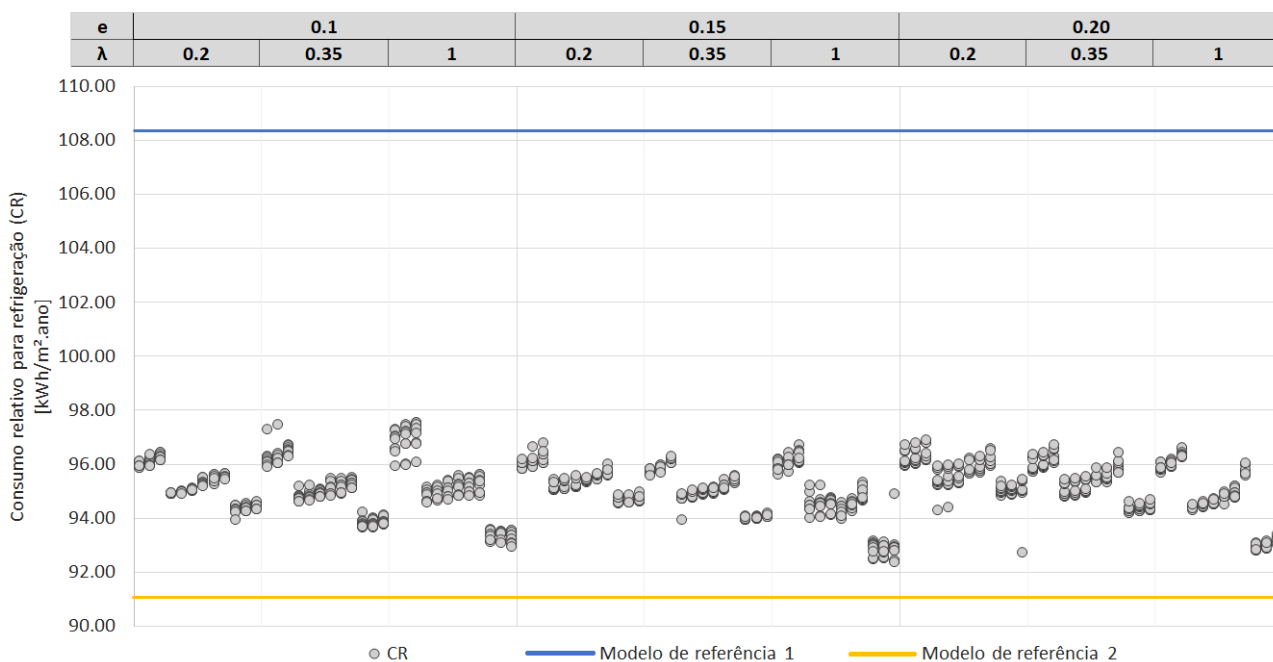
A alteração no consumo causado pelo aumento do calor específico do substrato foi pouco significativa, como pode ser observado na Figura 41. As diferenças das faixas de consumo com o aumento do parâmetro não atingiu 0,1 kWh/m².ano. A alteração da densidade também não ocasionou mudanças no consumo. Os efeitos nos resultados foram ainda menos expressivos em relação a Brasília e Porto Alegre. O aumento da densidade de 546 kg/m³ para 1360 kg/m³ aumentou a amplitude de 50% resultados em 0,20 kWh/m².ano apenas.

Figura 41 – (a) resultados para refrigeração variando o calor específico (c) e (b) resultados para refrigeração variando a densidade do substrato (ρ) em São Luís.



Fonte: A autora

Figura 42 - Consumo relativo para refrigeração para os parâmetros condutividade térmica e espessura do substrato seco em São Luís.

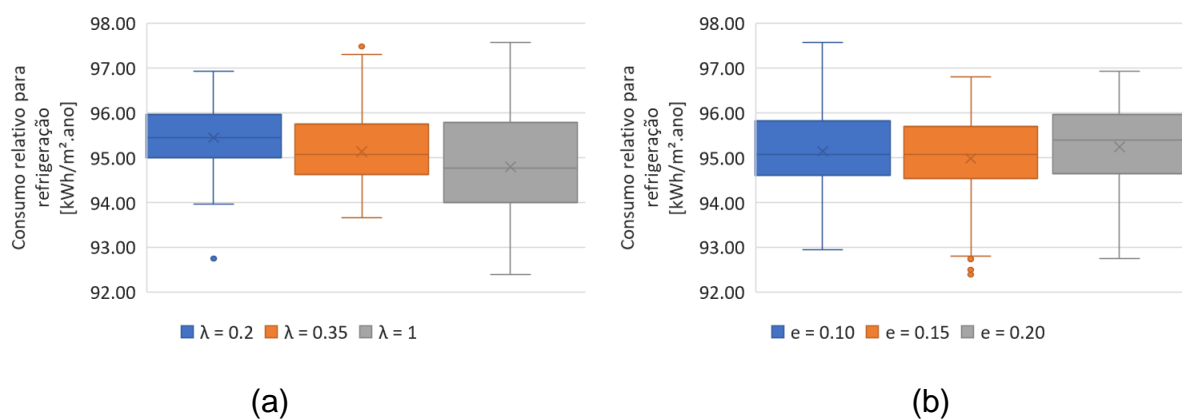


Fonte: A autora.

A alteração da condutividade térmica do substrato causou diferentes efeitos no consumo relativo para refrigeração em comparação com Brasília e Porto Alegre. Verificando a Figura 43, nota-se que o aumento da condutividade não reduziu o consumo para refrigeração como nas outras duas cidades analisadas, mas alterou a amplitude dos dados. A alteração da condutividade de 0,2 W/m.K para 1,0 W/m.K aumentou a amplitude de resultados em 5,22 kWh/m².ano. Ou seja, a faixa de consumo foi de 93 para 92-92 kWh/m².ano. Isso significa que com a condutividade

mais elevada, outros parâmetros do substrato e da vegetação podem elevar ou reduzir o consumo de energia.

Figura 43 – (a) resultados para refrigeração variando a condutividade térmica do substrato (λ) e (b) resultados para refrigeração variando a espessura do substrato (e) em São Luís.



Fonte: A autora

Analisando as Figuras 42 e 43, é possível observar um pequeno deslocamento vertical dos dados com espessura de 15 cm, bem como a redução na amplitude do consumo. Entretanto, as alterações nos resultados foram pequenas. A média de consumo para espessura de 15 cm foi 0,17 e 0,27 kWh/m².ano menor que as médias para 10 e 20 cm, respectivamente. Para as três espessuras, a faixa de consumo de 50% dos resultados foi de 94-95 kWh/m².ano. Desta forma, compreende-se que, ao contrário do que mostraram as análises de Brasília e Porto Alegre, a espessura do substrato não é um parâmetro influente para o desempenho termoenergético da cobertura verde em São Luís.

A Tabela 21 apresenta os dez casos com melhores desempenho para o consumo de energia elétrica com ar condicionado para a cidade de São Luís.

Tabela 21 - Configurações dos parâmetros com menores valores de consumo para ar condicionado para São Luís.

| Coberturas de Referência | | | | | | | | CR (kWh/m ² .ano) |
|---|------------|--------------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|
| 1 - Cobertura tradicional em fibrocimento | | | | | | | | 108.34 |
| 2 - Cobertura fria | | | | | | | | 91.04 |
| Coberturas verdes | | | | | | | | CR (kWh/m ² .ano) |
| ID | Vegetação | | | Substrato | | | | |
| | Alt (m) | LAI (adm) | R. est (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) | |
| Menores valores para consumo total | | | | | | | | |
| 1911 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 | 92.39 |
| 1909 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 | 92.44 |
| 1747 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 | 92.50 |
| 1828 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 | 92.53 |
| 1748 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 | 92.54 |
| 1829 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 | 92.56 |
| 1835 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 | 92.74 |
| 1919 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 | 92.76 |
| 1755 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 | 92.78 |
| 1836 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 | 92.79 |
| Maiores valores para consumo total | | | | | | | | |
| 19 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 113.78 |
| 100 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 113.77 |
| 181 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 | 113.77 |
| 20 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 113.72 |
| 101 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 113.71 |
| 182 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 | 113.70 |
| 22 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 | 113.46 |
| 102 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 | 113.45 |
| 185 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 | 113.44 |
| 21 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 | 112.95 |

Fonte: A autora

Para o clima equatorial de São Luís, a cobertura fria foi a opção com o melhor desempenho reduzindo o consumo relativo para ar condicionado 17,3 kWh/m².ano em comparação com a cobertura tradicional em fibrocimento.

A melhor configuração de cobertura verde reduziu o consumo de energia elétrica em 15,95 kWh/m².ano em relação à cobertura tradicional. Entretanto, seu resultado foi 1,35 kWh/m².ano maior que a cobertura fria. Diferentemente de Brasília e Porto Alegre, o consumo total de energia elétrica com ar condicionado em São Luís é determinado exclusivamente pelo consumo para refrigeração. A análise baseada no consumo de energia demonstra que o índice de área foliar elevado e a altura da vegetação são parâmetros importantes para reduzir a transferência de calor para o interior do edifício. Apesar da análise da vegetação não demonstrar uma grande influência da altura da vegetação, observa-se que todas as composições de cobertura verde com menor consumo de energia foram apresentaram a vegetação com altura de 35 cm.

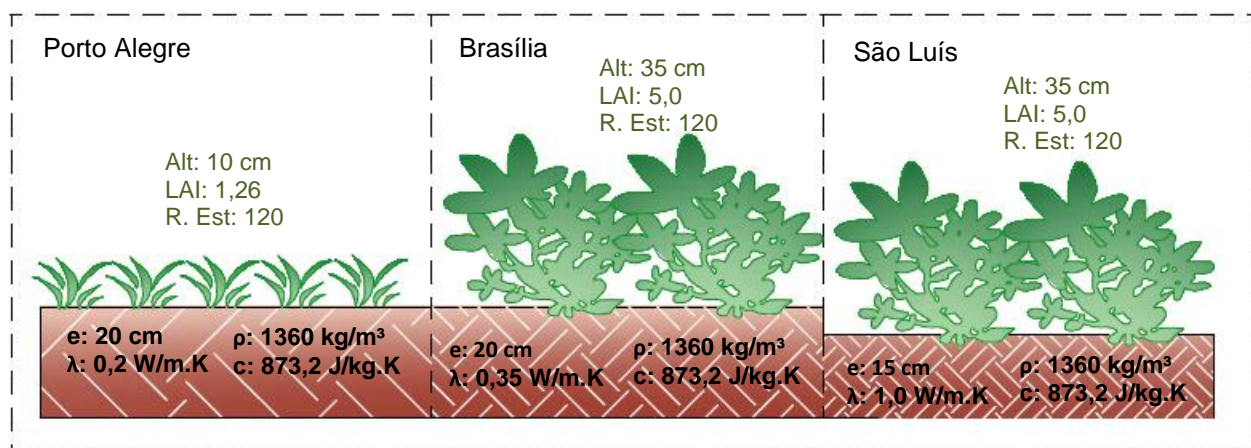
O substrato apresenta espessura intermediária com alta condutividade, permitindo que o calor possa dissipado do interior por condução, já que a baixa condutividade o transformaria em um isolante, aprisionando o calor no interior da edificação.

É importante ressaltar, que para Brasília e Porto Alegre o consumo relativo para aquecimento foi elevado, pois a programação de temperatura *setpoint* para aquecimento foi de 22°C. Além disso, para avaliar o impacto da tipologia da cobertura verde no desempenho termoenergético da edificação, a ventilação natural não foi inserida na programação, portanto a programação de abertura e fechamento de janelas pode aumentar a economia do consumo de energia para refrigeração. Dessa forma, o conforto térmico também não foi um parâmetro analisado como benefício para o ambiente interno.

4.3 BALANÇO ENERGÉTICO

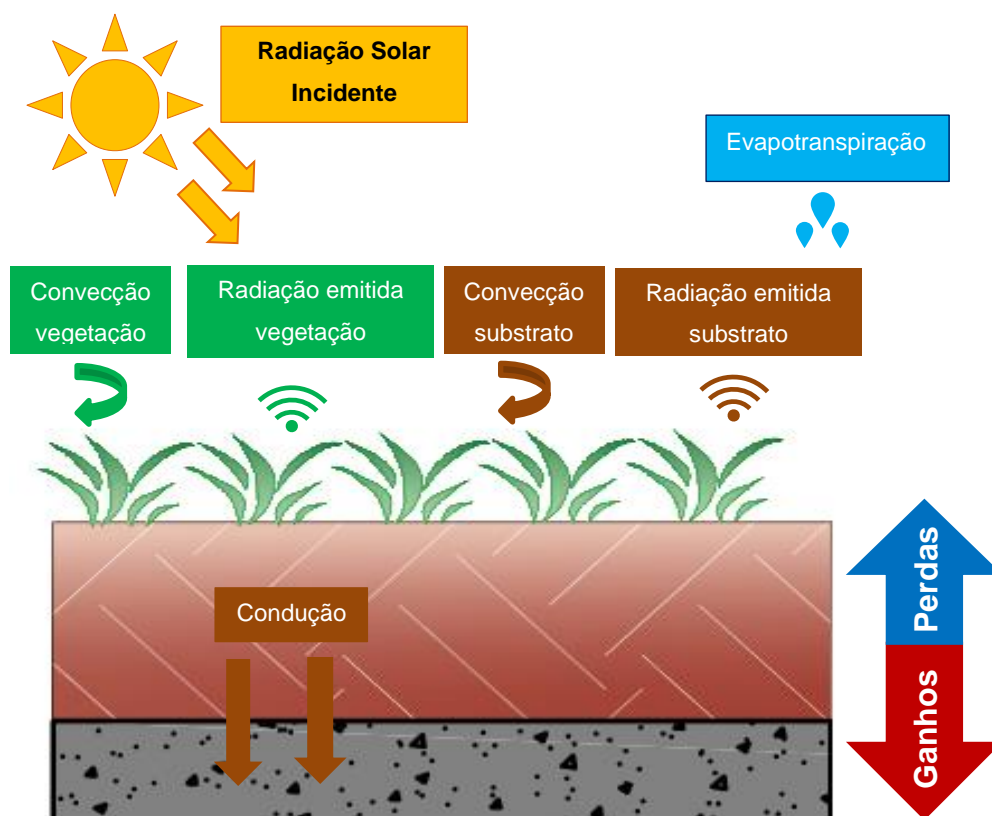
Nesta etapa, foram analisados o balanço térmico e os fluxos de calor que ocorrem na interface externa e interna da cobertura, por meio resultados obtidos através das variáveis de saída da simulação. Para esta etapa foram utilizadas as coberturas verdes com o menor consumo total de energia para cada cidade. Os parâmetros utilizados estão dispostos na Figura 44. As Figuras 45 e 46 ilustram as variáveis que compõem o balanço térmico das coberturas verde e convencional / fria, respectivamente.

Figura 44 - Coberturas verdes utilizadas



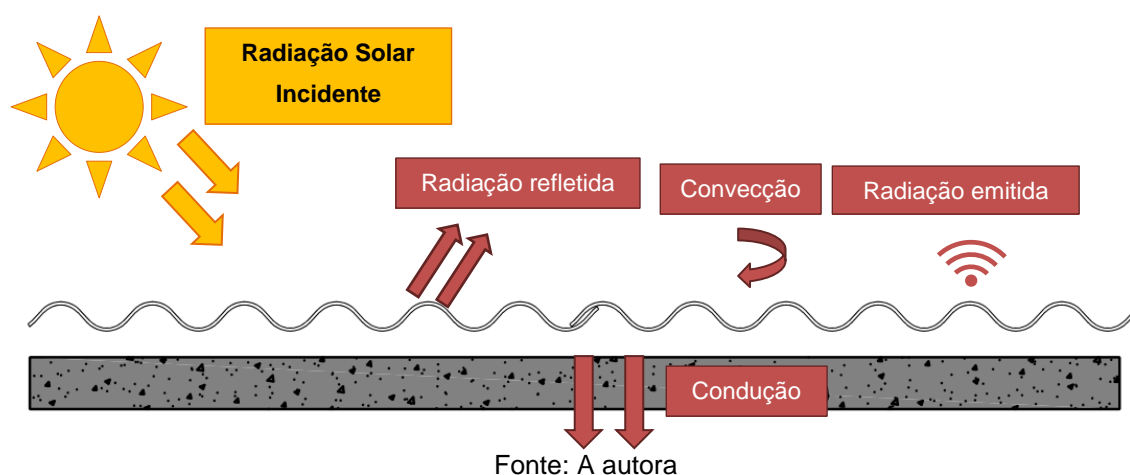
Fonte: A autora

Figura 45 - Balanço térmico da cobertura verde.



Fonte: A autora

Figura 46 – Balanço térmico das coberturas tradicional e fria.

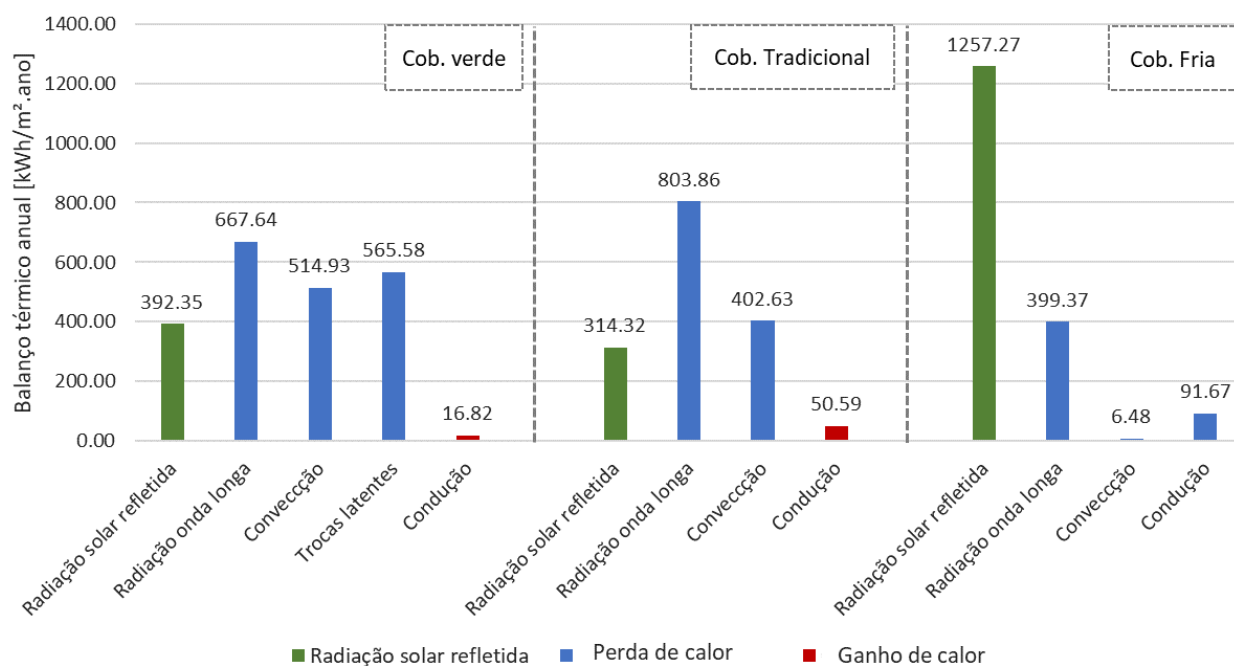


4.3.1 Porto Alegre

4.3.1.1 Balanço anual

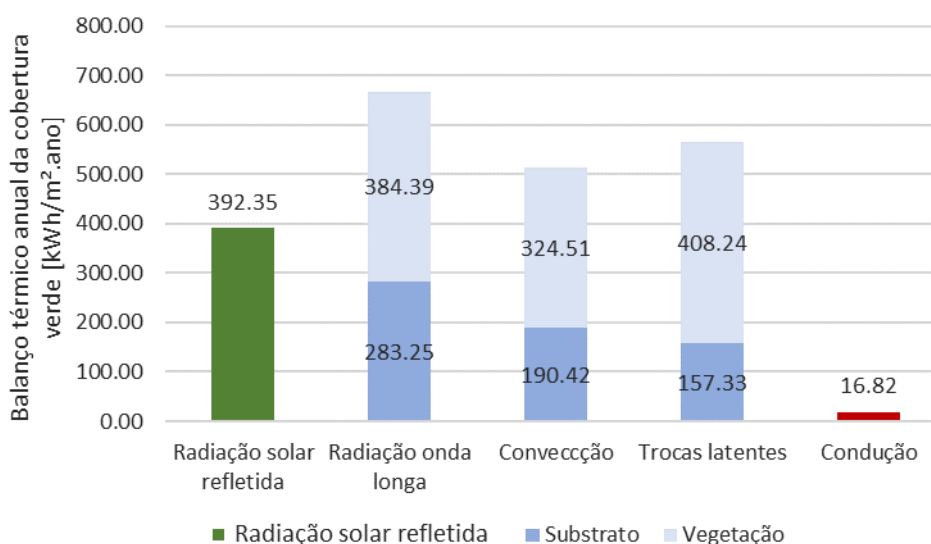
A Figura 47 apresenta os resultados do balanço térmico anual da cobertura verde e coberturas de referência para a cidade de Porto Alegre. A coluna em verde representa a radiação solar refletida. As colunas em azul representam as consequentes perdas de calor para o ambiente externo após a absorção da radiação solar, e as colunas em vermelho são os ganhos de calor para a estrutura e para o ambiente interno. Este é o padrão seguido para a análise das demais cidades. A Figura 48 apresenta o balanço térmico da cobertura verde com as parcelas de perdas e ganhos de calor da vegetação e do substrato.

Figura 47 – Balanço térmico anual da cobertura para a cidade de Porto Alegre.



Fonte: A autora.

Figura 48 – Balanço térmico da cobertura verde para a cidade de Porto Alegre.



Fonte: A autora

Como esperado, grande parte da radiação solar que atinge a cobertura fria é refletida, enquanto que a cobertura tradicional absorve boa parte devido à sua elevada absorção solar. A cobertura verde também apresenta elevada absorção da radiação solar para utilizar em seus processos metabólicos, contabilizados pelo algoritmo implementado ao *software* EnergyPlus pelas trocas de calor latente na vegetação e substrato.

Desta forma, considerando o montante de radiação solar refletida exposto no gráfico, a cobertura verde absorveu 864,92 kWh/m².ano de energia a mais do que a cobertura fria, ao longo do ano. Porém, este ganho excedente foi compensado com as perdas de calor sensível (por radiação e convecção) em 782,57 kWh/m².ano a mais do que a cobertura fria, além do adicional de 565,58 kWh/m².ano de calor latente liberado para o ambiente externo, atribuído ao processo de evapotranspiração.

Conforme já mencionado, as trocas de calor latente ocorrem devido aos processos físicos de evapotranspiração da cobertura verde. Do montante total, 157,33 kWh/m².ano são referentes à evapotranspiração realizada pela vegetação e 408,24 kWh/m².ano são devido à evaporação da água no substrato, conforme a Figura 48. A evapotranspiração é influenciada pela radiação solar, assim como pela umidade presente no substrato, pela velocidade do vento, resistência estomática, temperatura e umidade relativa na vegetação. No caso da composição da cobertura verde para Porto Alegre, foi adotado baixo índice de área foliar e baixa resistência estomática para minimizar o efeito de resfriamento evaporativo, e assim, reduzir o consumo de energia para aquecimento da edificação.

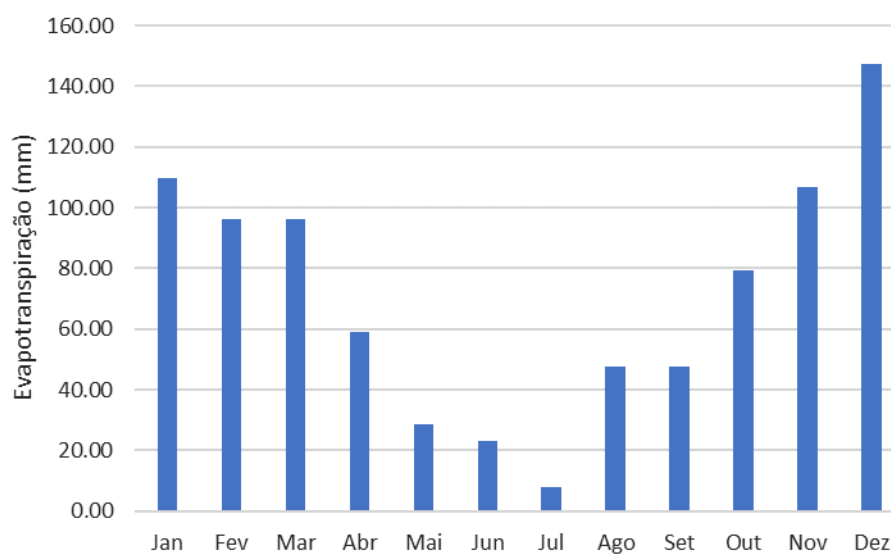
Analisando somente as perdas de calor por radiação de onda longa, é possível observar que a cobertura verde apresentou o total anual de radiação trocada com o céu de 667,64 kWh/m².ano, contra 803,86 kWh/m².ano pela cobertura tradicional e 399,37 kWh/m².ano pela cobertura fria. Na cobertura verde, a troca de calor por radiação pela vegetação foi cerca de 100 kWh/m².ano maior que o substrato. Isso ocorre devido à maior exposição à radiação solar da vegetação em relação ao substrato. Entretanto, esta diferença não foi maior devido ao baixo índice de área foliar.

Em relação às perdas de calor por convecção, todas as coberturas perderam calor para o ambiente externo. Os resultados foram 514,93 kWh/m².ano para cobertura verde, 402,63 kWh/m².ano para cobertura tradicional e 6,48 kWh/m².ano para cobertura fria. O balanço térmico da cobertura verde é influenciado pela evapotranspiração. Com este processo limitado devido ao baixo índice de área foliar adotado, as trocas de calor sensível são mais evidentes, como pode ser observado também no estudo de He et al. (2016). Dessa forma, a perda de calor por convecção do substrato (190,42 kWh/m².ano) somada à perda da vegetação (324,51 kWh/m².ano) superam as perdas das duas coberturas de referência.

Enquanto na cobertura verde e tradicional a transferência de calor por condução através da laje para o interior da edificação foi de 16,82 e 50,59 kWh/m².ano, respectivamente; na cobertura fria o calor foi direcionado para o ambiente externo, 91,67 kWh/m².ano. Na cobertura tradicional, a absorção de grande parte da radiação solar eleva sua temperatura e parte do calor é transferido para a laje e então transferido para o ambiente interno. A cobertura verde também absorve grande parte da radiação solar, parte do calor é utilizado para trocas de calor por radiação e convecção e parte é utilizado para trocas latentes. Entretanto, devido à elevada massa térmica do substrato, parte do calor é armazenado e conduzido para a laje e para o ambiente interno. Na cobertura fria a maior parte da radiação solar é refletida, mantendo a temperatura superficial mais baixa, dessa forma o calor é conduzido através da laje para a telha e para o ambiente externo.

Como resultado do balanço térmico das coberturas estudadas, verificou-se que a quantidade de calor sensível liberado para o ambiente, resultado da soma das perdas de calor por radiação e convecção, foi de 1182,57 kWh/m².ano para a cobertura verde, 1206,49 kWh/m².ano para a cobertura tradicional e 405,85 kWh/m².ano para a cobertura fria. Por meio das trocas de calor latente da cobertura verde, foram liberados 849,22 mm de água para o ambiente externo através da evapotranspiração durante o ano. Assim como nos estudos de Kolokotsa et al. (2013) e Yang et al (2018), o baixo valor de LAI atribuído à composição da cobertura verde para Porto Alegre, aumenta o calor sensível liberado pela cobertura verde. Entretanto, a evapotranspiração contribui para o aumento da umidade relativa do ambiente externo, capaz de reduzir a temperatura do ar. Quanto maior a umidade maior a redução da temperatura do ar, como evidenciado nos estudos de Wong (2003), Ouldboukhitine, Belarbi e Sailor (2013) e Krebs (2018). A Figura 49 demonstra a quantidade de água liberada para o ambiente externo ao longo do ano. É possível verificar que as maiores taxas de evapotranspiração são nos meses quentes de verão, sendo no inverno, com temperaturas mais baixas, a umidade liberada é menor.

Figura 49 - Evapotranspiração (mm) para a cidade de Porto Alegre.

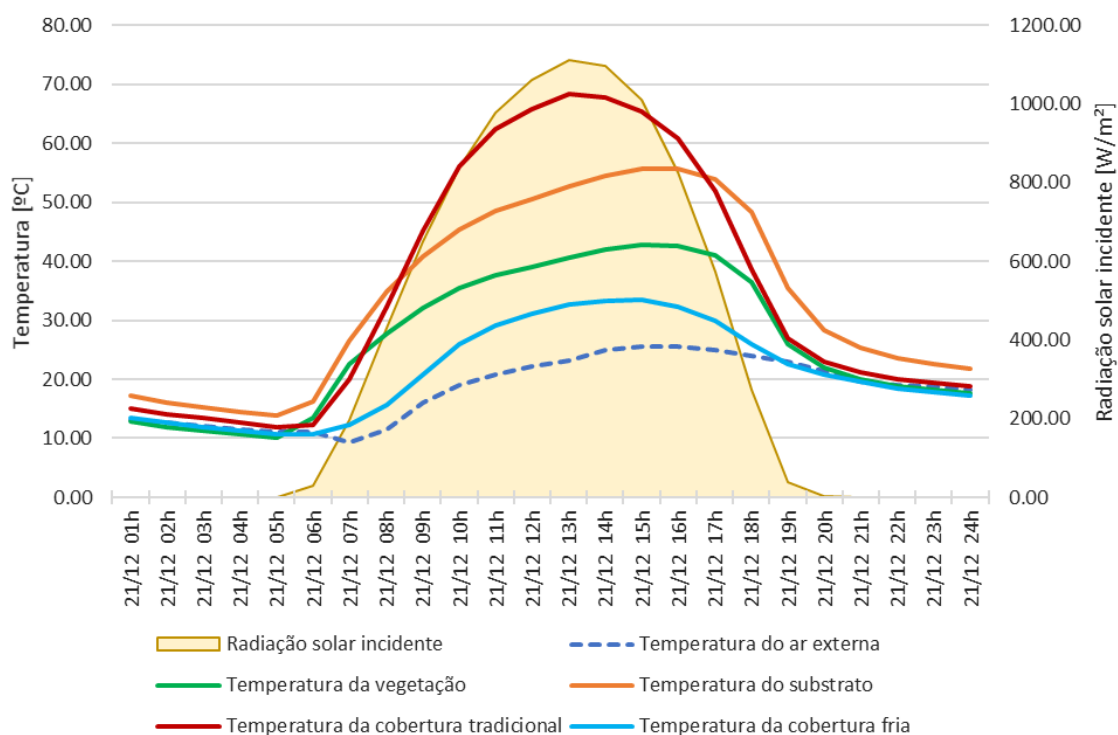


Fonte: A autora

4.3.1.2 Comportamento da temperatura superficial no verão

Nesta etapa, o comportamento da temperatura superficial da vegetação, substrato e telhas foi analisado para o dia de solstício de verão (21/12), para avaliar de forma mais detalhada como ocorreram as trocas de calor durante o dia e a noite. A Figura 50 apresenta as temperaturas superficiais externas da cobertura verde e das coberturas de referência, assim como a radiação solar incidente e temperatura do ar externo.

Figura 50 - Temperaturas superficiais externas para 21/12, Porto Alegre.



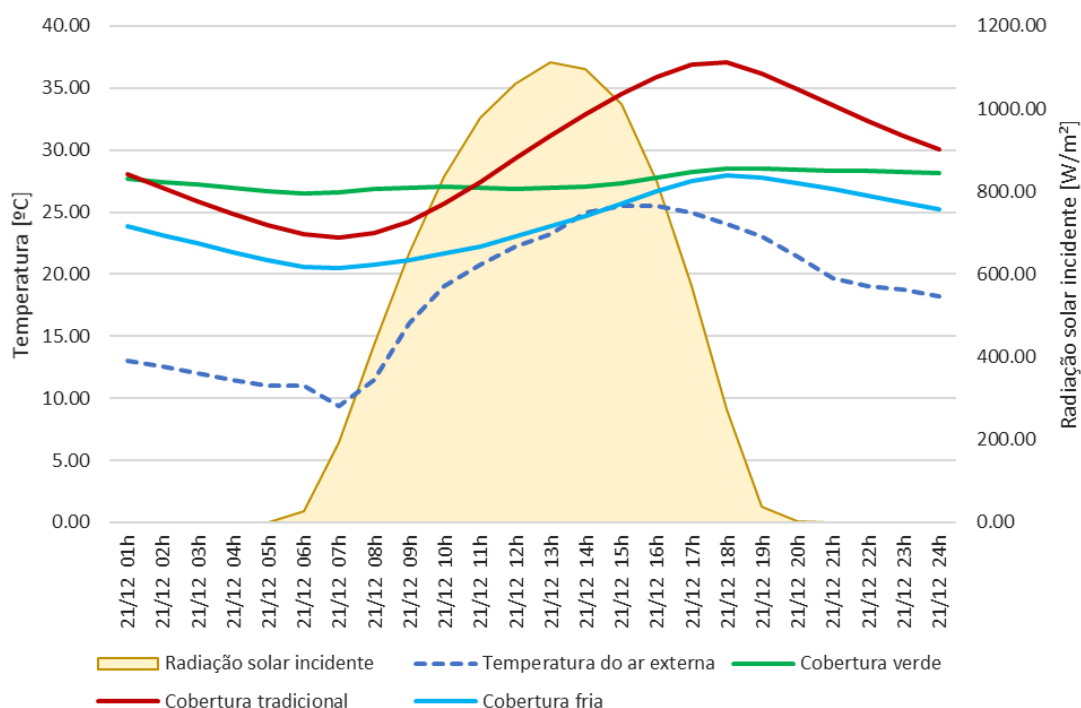
Fonte: A autora

O primeiro ponto a ser observado no comportamento da cobertura verde é a diferença entre a temperatura da vegetação e do substrato. Enquanto a temperatura máxima do substrato foi de 55,76°C, o valor máximo registrado para a vegetação foi de 42,79°C. Isso ocorre pelo efeito de resfriamento provocado pela evapotranspiração e pelo sombreamento do substrato. Durante o período noturno, a temperatura da vegetação era semelhante à temperatura do ar externo, com uma diferença máxima de 2°C e a temperatura do substrato se manteve no mínimo 2°C acima da temperatura do ar.

Durante o dia, a temperatura máxima da superfície externa foi de 68,28°C para a cobertura tradicional e 33,39°C para a cobertura fria. Durante o período noturno, as temperaturas da cobertura fria foram menores que a temperatura do ar, promovendo perdas de calor durante o período.

Os valores mínimos registrados foram 11,85 e 10,59 °C para coberturas tradicional e fria e 10,17°C para a vegetação. A variação máxima diária da temperatura da superfície do telhado verde durante o dia foi 32,62°C para a vegetação e 41,98°C para o substrato, enquanto para coberturas tradicional e fria esses valores foram 56,43 e 22,79°C, respectivamente.

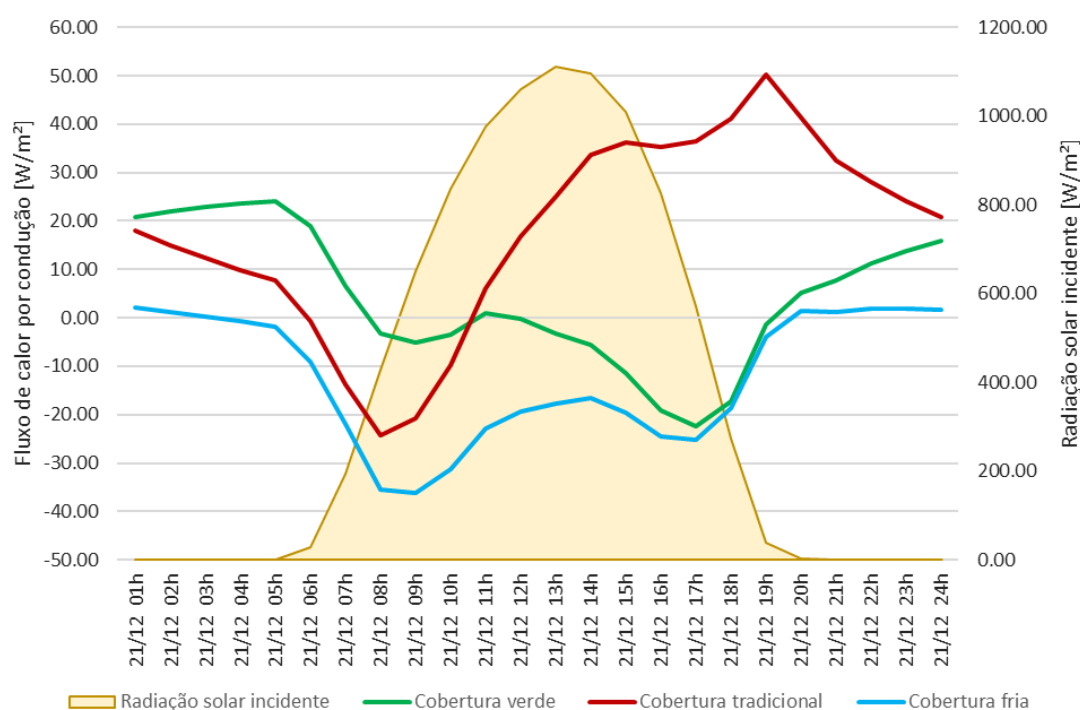
Figura 51 - Temperaturas superficiais internas para o dia 21/12, Porto Alegre.



Fonte: A autora

A Figura 51 demonstra a temperatura superficial interna da laje ao longo do dia. A cobertura verde apresenta a menor amplitude de temperatura de 2,08°C e temperatura média de 27,48°C. Para as coberturas tradicional e fria, a amplitude de temperatura foi de 14,15 e 7,47°C respectivamente. Os valores máximos da temperatura da superfície interna foram 37,07 e 27,98°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria e 28,55°C para a cobertura verde. Os valores mínimos da temperatura interna da superfície foram 22,92 e 20,51°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria e 26,47°C para a cobertura verde.

Figura 52 – Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/12, Porto Alegre.



Fonte: A autora

A comparação entre as densidades de fluxo de calor por condução em cada tipo de cobertura é mostrada na Figura 52. Os valores positivos representam o ganho de calor, enquanto os negativos representam a perda de calor. Observa-se que durante o dia a cobertura verde retira o calor do ambiente interno e no período noturno o calor é conduzido para o interior. Este comportamento foi relatado também nos estudos de Parizotto e Lamberts (2011), He et al. (2016) e Chagolla-Aranda et al. (2017). As coberturas fria e tradicional apresentaram comportamentos semelhantes até às 08h. Com o aumento da incidência da radiação solar, a temperatura da cobertura tradicional aumenta e então passa a apresentar ganhos de calor significativos. Com o pôr do sol, os ganhos de calor começam a reduzir com e então, somente perto do amanhecer, passa a perder calor. A cobertura fria inicia perdendo calor e, com o aumento da radiação solar incidente, as perdas de calor são reduzidas até que o fluxo se inverte e passa a transferir calor para o ambiente interno durante a noite.

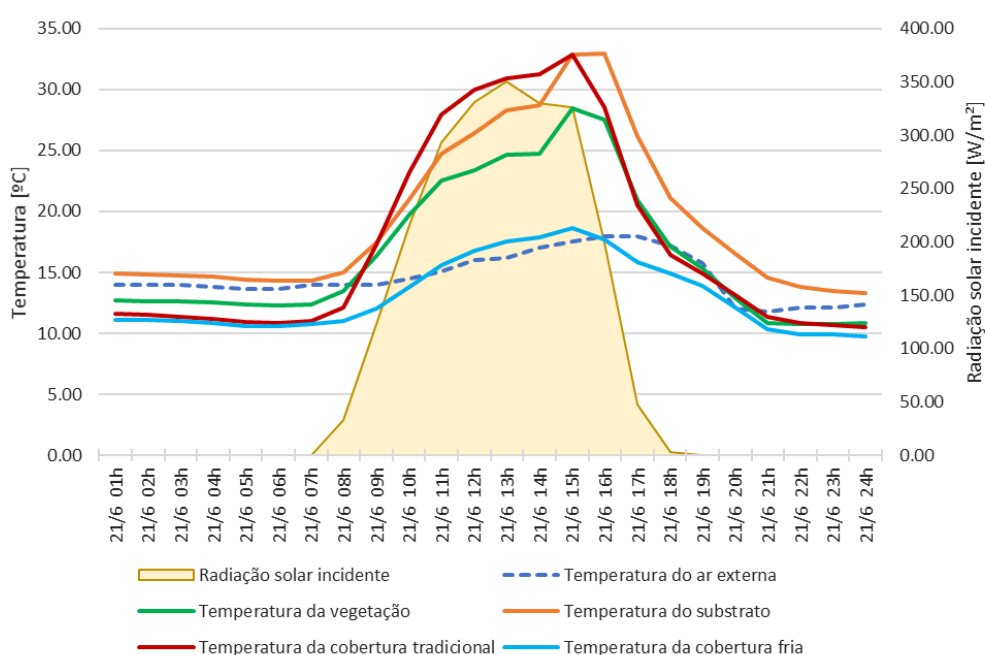
O valor máximo de ganho de calor foi de 50,34 W/m² ocorre por volta das 19h na cobertura tradicional. Neste horário, as coberturas verde e fria apresentaram 1,49 e 3,86 W/m² de perda de calor, respectivamente. Os valores máximos de ganho

de calor foram de 50,34 e 2,06 W/m² para as coberturas tradicional e fria, respectivamente, e para a cobertura verde o ganho máximo de calor foi de 24,01 W/m². As perdas máximas de calor foram de 24,31 e 36,11 W/m² para as coberturas tradicional e fria, respectivamente entre 08 e 09h, e para a cobertura verde foi de 22,30 W/m² às 17h.

4.3.1.3 Comportamento da temperatura superficial no inverno

O comportamento da temperatura superficial da vegetação, substrato e telhas foi analisado para o dia de solstício de inverno (21/06), para avaliar de forma mais detalhada como ocorreram as trocas de calor durante o dia e a noite. A Figura 50 apresenta as temperaturas superficiais externas da cobertura verde e das coberturas de referência.

Figura 53 - Temperaturas superficiais externas para 21/6, Porto Alegre.

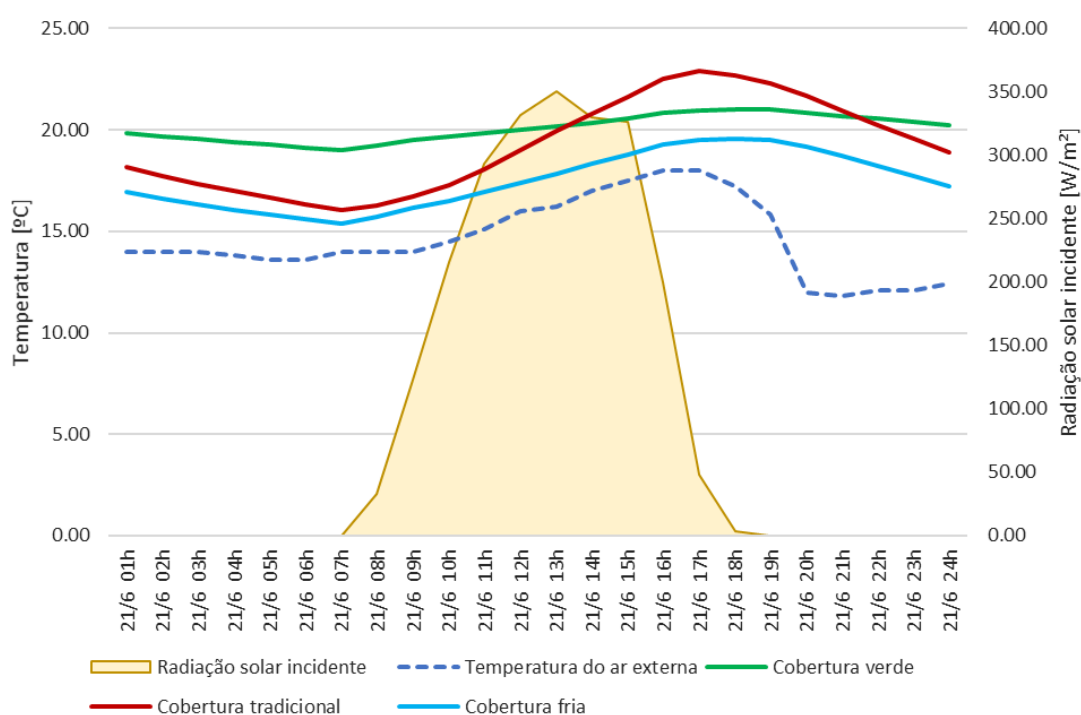


Fonte: A autora

A diferença entre a temperatura da vegetação e do substrato foram observadas também no dia de solstício de inverno. A temperatura máxima do substrato foi de 32,95°C e da vegetação foi de 28,46°C. Durante a noite, a temperatura do substrato se manteve superior à temperatura do ar, em média 1,5°C. Isso indica que o substrato mantém o calor dentro do ambiente devido a sua massa térmica. Este comportamento também pode ser observado no estudo de Dias (2016).

A temperatura máxima da superfície externa durante o dia foi de 32,84°C para a cobertura tradicional e 18,60°C para a cobertura fria. Durante a noite, as temperaturas da cobertura fria e da cobertura tradicional foram menores que a temperatura do ar, com diferenças máximas de 3,02 e 3,26°C respectivamente. Os valores mínimos registrados foram 10,47 e 9,75°C para coberturas tradicional e fria, 10,75°C para a vegetação e 13,34°C para o substrato. A variação máxima diária da temperatura da superfície do telhado verde durante o dia foi 17,71°C para a vegetação e 19,61°C para o substrato, enquanto para coberturas tradicional e fria esses valores foram 22,37 e 8,85°C, respectivamente.

Figura 54 - Temperaturas superficiais internas para 21/6, Porto Alegre.



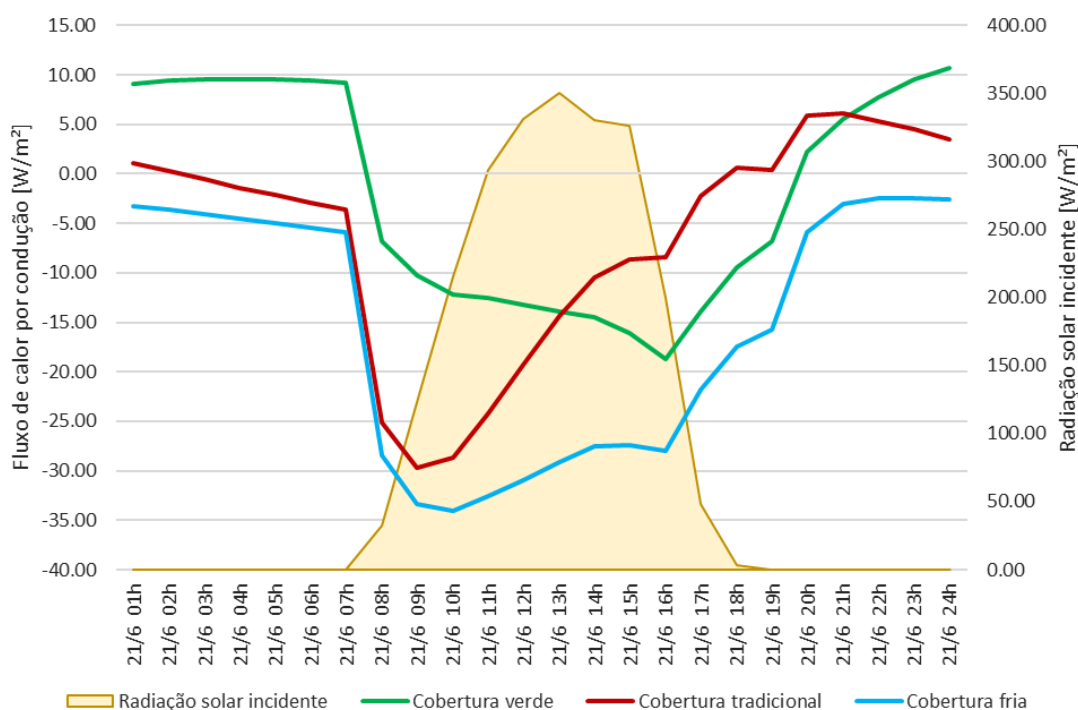
Fonte: A autora

Assim como no verão, a amplitude da temperatura superficial interna é menor sob a cobertura verde, cerca de 2°C. Para as coberturas tradicional e fria, esses valores foram 6,85 e 4,2°C, respectivamente. Os valores máximos da temperatura da superfície interna foram 22,88 e 19,56°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria e 21,01°C para a cobertura verde. Os valores mínimos da temperatura interna da superfície foram 16,03 e 15,36°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria e 19°C para a cobertura verde.

É possível observar que a cobertura verde confere uma maior linearidade nas temperaturas superficiais no verão e no inverno, enquanto para as coberturas de

referência essas temperaturas variam com maior intensidade. Esta linearidade é uma característica comum aos componentes construtivos de maior capacidade térmica, o que reflete o bom desempenho da cobertura verde.

Figura 55 - Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/6, Porto Alegre.



Fonte: A autora

A Figura 55 mostra o fluxo de calor por condução para a cobertura verde e coberturas de referência, para o solstício de inverno. A cobertura verde apresentou menor perda de calor em comparação com as coberturas de referência para o período frio. Assim como no período quente, a cobertura verde se comportou como um dissipador de calor durante o dia e uma fonte de calor durante a noite. A cobertura fria perdeu calor em todo o período e a cobertura tradicional ganhou calor a partir do período da noite.

O valor máximo de ganho de calor foi de 10,74 W/m² ocorre por volta das 24h na cobertura verde. A cobertura tradicional apresentou o ganho máximo de calor de 6,08 W/m². As perdas máximas de calor foram de 29,69 e 34,06 W/m² para as coberturas tradicional e fria, respectivamente entre 09 e 10h, e para a cobertura verde foi de 18,76 W/m² às 16h.

Para o clima temperado de Porto Alegre, com elevada umidade relativa e temperaturas mais brandas, a escolha do baixo índice de área foliar combinado à

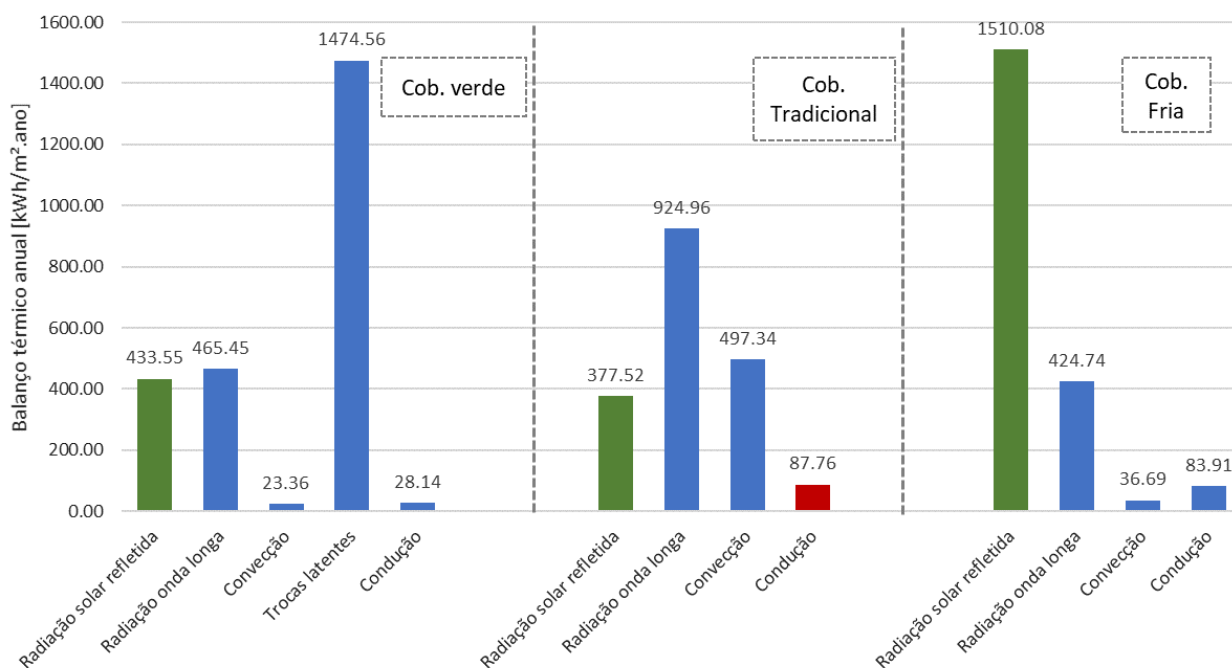
elevada espessura de substrato mostrou que a cobertura verde funciona bem para as condições climáticas neste estudo. Com relação às temperaturas superficiais, a cobertura verde apresentou temperaturas de vegetação e substrato maiores do que a cobertura fria, apresentando assim maiores perdas de calor sensível para o ambiente externo. Entretanto, ainda que reduzida devido ao baixo LAI, ocorre a evapotranspiração, que aumenta a umidade no ar e auxilia na redução da temperatura externa.

Com relação às temperaturas superficiais internas, a cobertura verde apresentou a menor amplitude diária tanto no período quente quanto no frio. A temperatura superficial interna elevada favorece a transferência de calor para o ambiente interno por meio da convecção e radiação, assim como a temperatura menor retira o calor do ambiente interno. A redução da amplitude diária permite a redução do consumo para refrigeração e aquecimento. Isso demonstra a importância da massa térmica para absorver grande quantidade de calor e atrasar a transferência para o ambiente interno, bem como do isolamento que reduz as perdas de calor.

4.3.2 Brasília

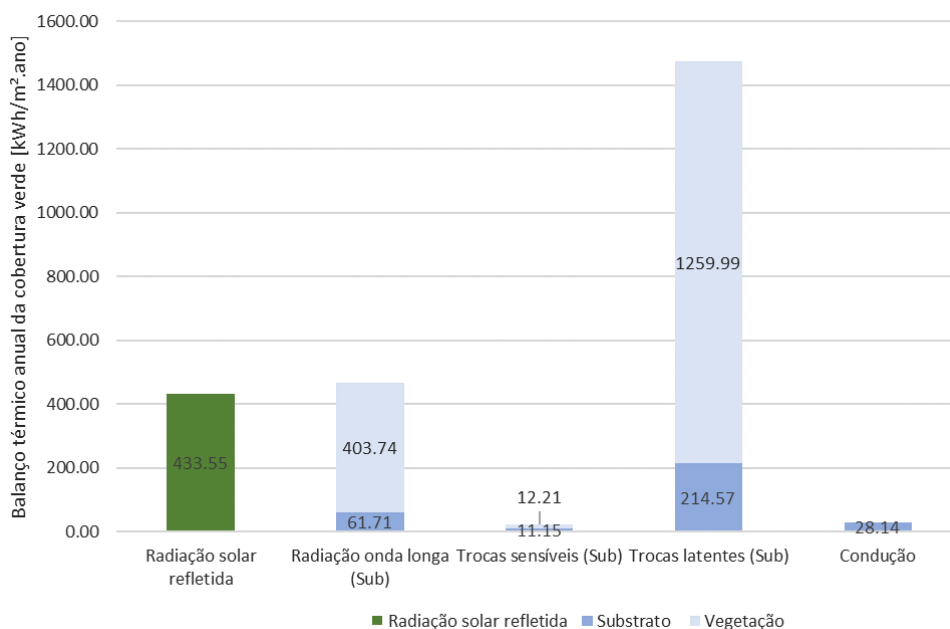
A Figura 56 apresenta os dados do balanço térmico anual da cobertura verde e coberturas de referência para a cidade de Brasília. A Figura 57 apresenta o balanço térmico da cobertura verde com as parcelas de perdas e ganhos de calor da vegetação e do substrato.

Figura 56 - Balanço térmico da cobertura para a cidade de Brasília.



Fonte: A autora

Figura 57 - Balanço térmico da cobertura verde para a cidade de Brasília.



Fonte: A autora

Assim como ocorreu em Porto Alegre, as coberturas verde e tradicional absorveram grande parte da radiação solar incidente, enquanto na cobertura fria ela é refletida. Ao longo do ano, a cobertura verde absorveu 1076,53 kWh/m².ano de energia a mais que a cobertura fria. Porém, ao contrário de Porto Alegre que o ganho excedente é compensado pelas perdas de calor sensível e uma parcela do calor

latente, em Brasília, esta compensação ocorre principalmente pela perda de calor latente de 1474,56 kWh/m².ano. As perdas de calor sensível (por radiação e convecção) foram 27,38 kWh/m².ano maior do que a cobertura fria.

Como já mencionado, o significativo aumento nas trocas de calor latente na cobertura verde, contribui para reduzir as trocas de calor sensível. Do total de 1474,56 kWh/m².ano perdido por trocas latentes, 214,57 kWh/m².ano são referentes à evaporação da água no substrato e 1259,99 kWh/m².ano são devido à evapotranspiração da camada vegetal. Brasília apresenta maior incidência de radiação solar, maiores temperaturas durante o ano todo e menor umidade relativa. Segundo Jaffal et al. (2012), He et al. (2016) e Huang et al. (2018), estes fatores contribuem para o aumento da perda de água da cobertura verde para o ambiente externo, levando ao resfriamento evaporativo.

Analisando as perdas de calor por radiação de ondas longas, do montante de 465,45 kWh/m².ano, 61,71 kWh/m².ano foram perdidos pelo substrato e 403,74 kWh/m².ano pela vegetação. Neste caso, é possível verificar o quanto o efeito de sombreamento provocado pelo elevado índice de área foliar reduz a temperatura superficial do substrato, reduzindo a troca de calor por radiação, e aumenta a radiação pela vegetação. A cobertura tradicional apresentou perdas de calor por radiação de onda longa de 924,96 kWh/m².ano, e a cobertura fria de 424,74 kWh/m².ano.

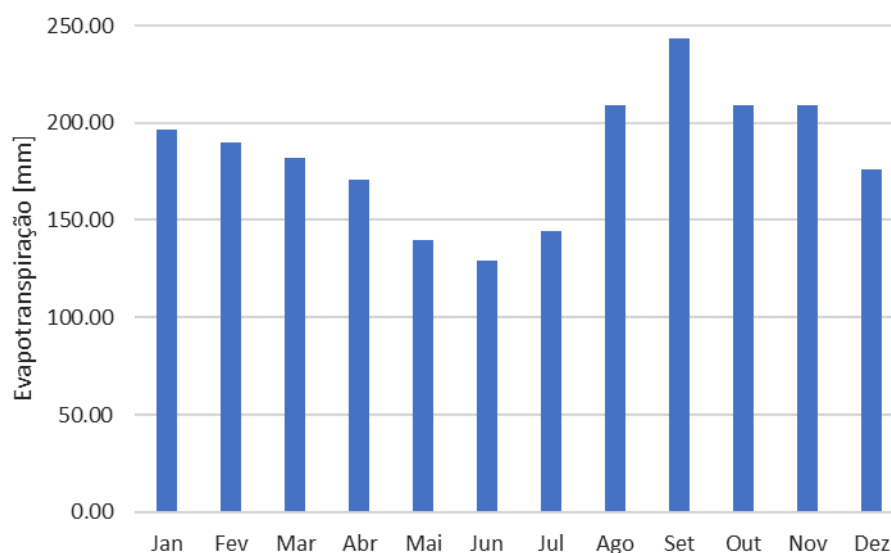
As perdas de calor por convecção foram menores para a cobertura verde quando comparadas às coberturas de referência. Estas somaram 23,36 kWh/m².ano para a cobertura verde, 497,34 kWh/m².ano para a cobertura tradicional e 36,69 kWh/m².ano para a cobertura fria. Isso pode ser explicado pela camada da vegetação ser mais densa do que em Porto Alegre, que forma uma espécie de barreira e reduz o coeficiente de convecção, e aumenta as trocas de calor latente.

Para as coberturas fria e verde, a transferência de calor por condução foram de 83,91 kWh/m².ano e 28,14 kWh/m².ano para o ambiente externo, respectivamente. Já para a cobertura tradicional, 87,76 kWh/m².ano foram conduzidos para o interior da edificação.

A perda de calor sensível por radiação somado a convecção foi de 488,81 kWh/m².ano para a cobertura verde, 1422,30 kWh/m².ano para a cobertura tradicional e 461,43 kWh/m².ano para a cobertura fria. Observa-se que a quantidade de calor sensível liberado pela cobertura verde foi apenas 6% maior que a cobertura

fria, impactando de forma semelhante no ambiente externo. Porém, ao contabilizar as trocas de calor latente da cobertura verde, verifica-se ainda que 2199,90 mm de água foi liberada por evapotranspiração. A Figura 58 mostra a quantidade de água liberada para o ambiente externo de ao longo do ano.

Figura 58 - Evapotranspiração (mm) para a cidade de Brasília.

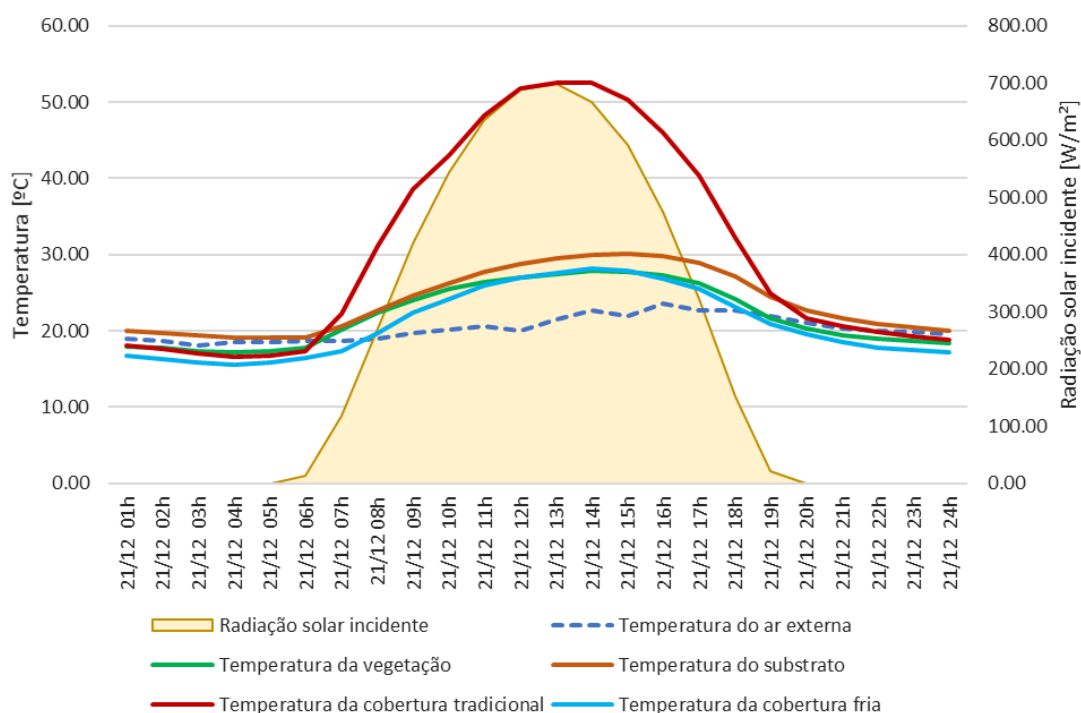


Fonte: A autora

É possível verificar que em todos os meses a taxa de evapotranspiração foi maior que 100mm, sendo que em apenas três meses ficou menor que 150 mm. Ao avaliar o calor sensível e o calor latente liberados, juntamente com o aumento da umidade no ambiente externo, pode-se dizer que a cobertura verde é a opção com maior potencial de reduzir a temperatura do ar do que a cobertura fria, além de apresentar melhor desempenho termoenergético.

4.3.2.1 Comportamento da temperatura superficial no verão

Figura 59 - Temperaturas superficiais externas para 21/12, Brasília.



Fonte: A autora

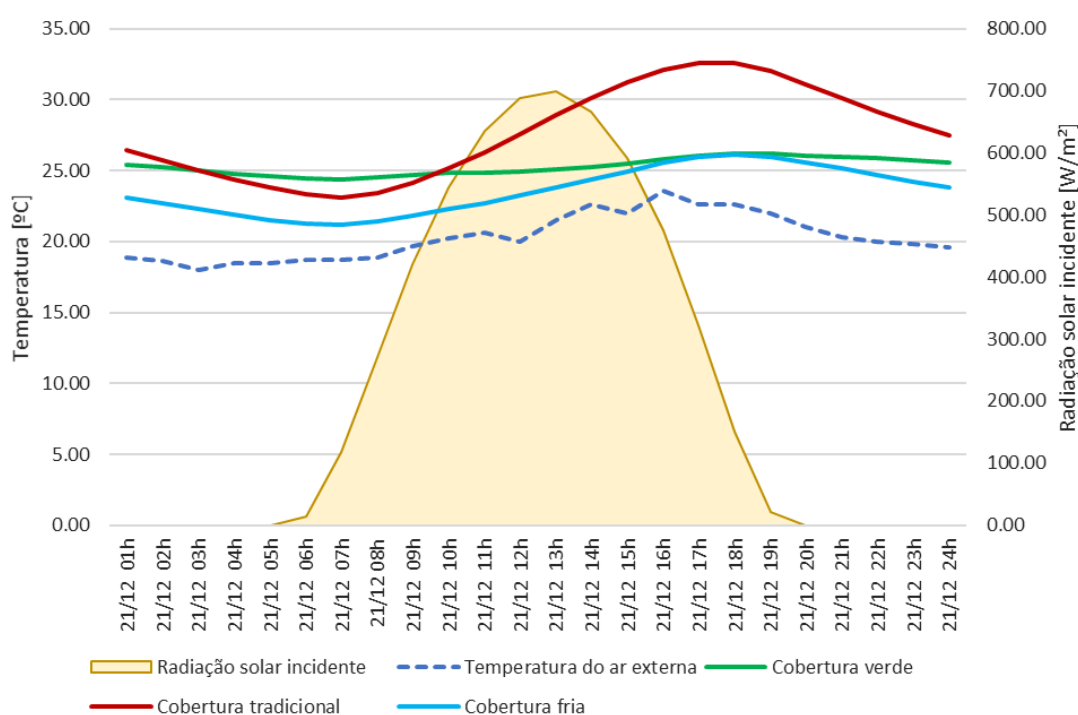
Como esperado, a cobertura verde apresentou redução significativa da temperatura superficial e sua amplitude em relação à cobertura tradicional. A temperatura do substrato foi ligeiramente maior que a temperatura da vegetação, em média 1,8°C. A temperatura da vegetação foi muito próxima da temperatura superficial da cobertura fria, em média 1°C acima. Com exceção do período entre 12h e 15h, em que a temperatura superficial da cobertura fria foi maior. Isso ocorre devido aos elevados níveis de radiação solar incidente que, segundo Jaffal et al. (2012), He et al. (2016) e Huang et al. (2018), é um dos fatores climáticos que elevam a taxa de evapotranspiração. Durante o período noturno, a temperatura da vegetação era um pouco mais baixa que a temperatura do ar externo, com uma diferença média de 0,95°C e a temperatura do substrato se manteve em média 0,94°C acima da temperatura do ar.

Durante o dia, a temperatura máxima da superfície externa foi de 52,53°C para a cobertura tradicional e 28,20°C para a cobertura fria. Para a cobertura verde, os valores máximos foram de 27,88 e 30,12°C para a vegetação e substrato, respectivamente. Durante o período noturno, as temperaturas da cobertura fria foram

menores que a temperatura do ar, promovendo perdas de calor durante o período, assim como em Porto Alegre.

Os valores mínimos registrados foram 16,63 e 15,52°C para coberturas tradicional e fria e 17,2°C para a vegetação. A amplitude diária da temperatura da superfície do telhado verde durante o dia foi 10,68°C para a vegetação e 11,09°C para o substrato, enquanto para coberturas tradicional e fria esses valores foram 35,9 e 12,68°C, respectivamente.

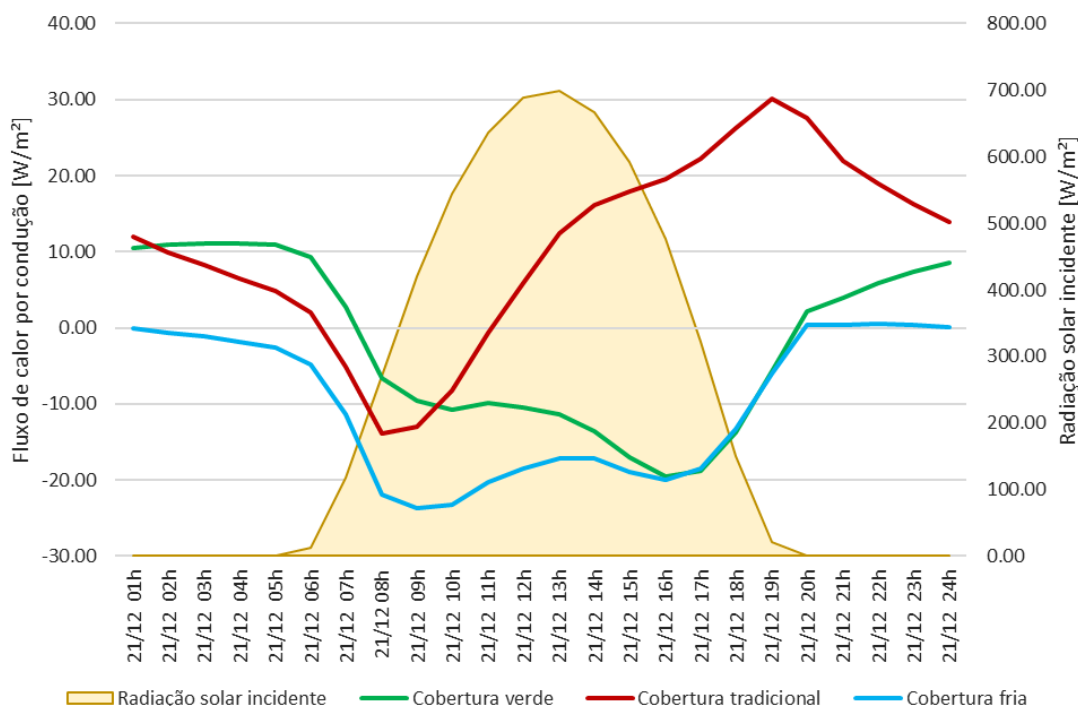
Figura 60 - Temperaturas superficiais internas para 21/12, Brasília.



Fonte: A autora

A temperatura superficial interna da laje pode ser observada na Figura 60. Como esperado, a cobertura verde apresentou a menor variação na temperatura superficial interna ao longo do dia. A variação máxima foi de 1,84°C e a temperatura média foi de 25,30°C. Para as coberturas tradicional e fria, a amplitude de temperatura foi de 9,51 e 4,92°C respectivamente. Os valores máximos da temperatura da superfície interna foram 32,61 e 26,13°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria e 26,23°C para a cobertura verde. Os valores mínimos da temperatura interna da superfície foram 23,1 e 21,2°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria e 24,39°C para a cobertura verde.

Figura 61 - Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/12, Brasília.



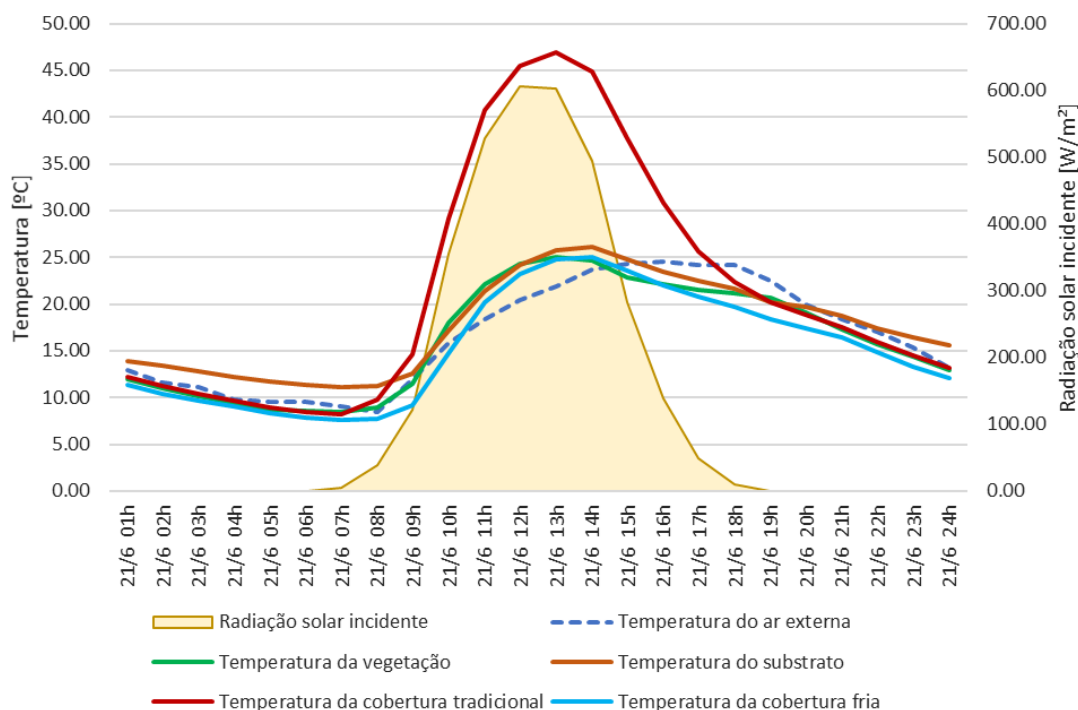
Fonte: A autora

A Figura 61 mostra o fluxo de calor por condução para a cobertura verde e coberturas de referência. Assim como em Porto Alegre, a cobertura verde retira o calor do ambiente interno durante o dia e no período noturno o calor é conduzido para o interior. A cobertura tradicional apresentou perdas de calor entre 07 e 11h, quando as temperaturas superficiais externas começam a aumentar devido à radiação solar incidente, as perdas de calor reduzem e o fluxo se inverte até pico às 19h, quando o ganho de calor começa a reduzir novamente. A cobertura fria perde calor cerca de 80% do tempo. Com o aumento da radiação solar incidente, as perdas de calor reduzem, até que durante o período noturno, o calor é transferido para o interior com valores abaixo de 1 W/m².

O valor máximo de ganho de calor foi de 30,07 W/m² ocorre por volta das 19h na cobertura tradicional. Neste horário, as coberturas verde e fria apresentaram 5,76 e 5,95 W/m² de perda de calor, respectivamente. O valor máximo de ganho de calor foi de 0,47 W/m² para a cobertura fria, e para a cobertura verde foi de 11,12 W/m². As perdas máximas de calor foram de 13,94 e 23,72 W/m² para as coberturas tradicional e fria, respectivamente entre 08 e 09h, e para a cobertura verde foi de 19,47 W/m² às 16h.

4.3.2.2 Comportamento da temperatura superficial no inverno

Figura 62 - Temperaturas superficiais externas para 21/6, Brasília.

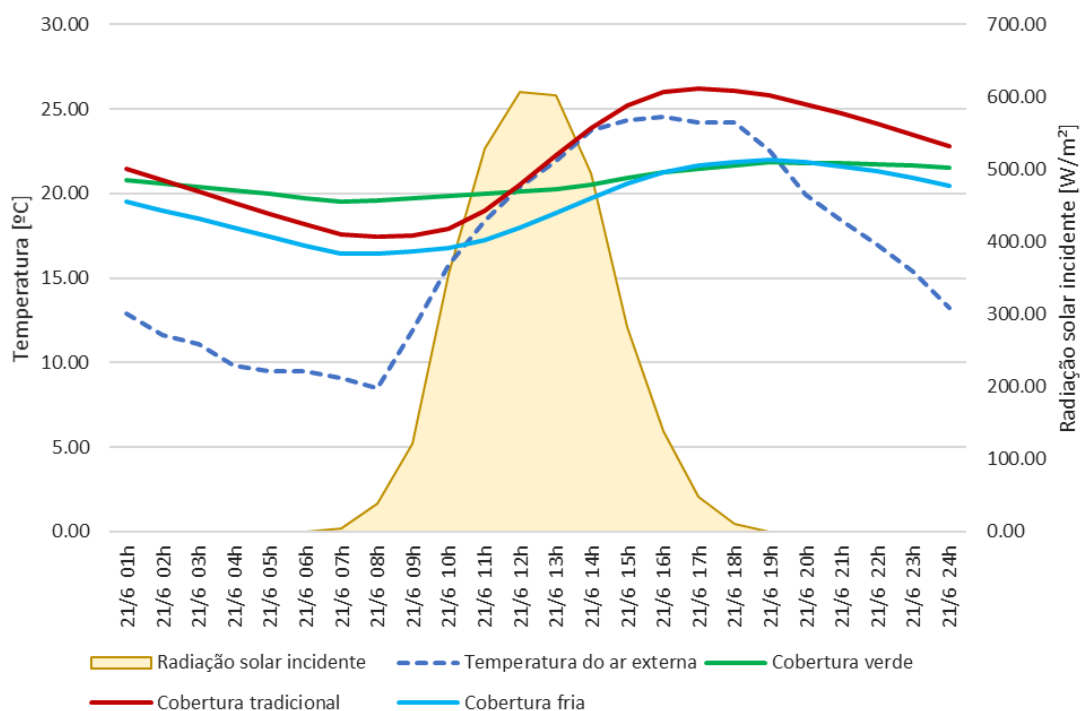


Fonte: A autora

Assim como durante o solstício de verão, reduções da temperatura superficial e de sua amplitude foram observadas na cobertura verde. A temperatura do substrato foi em média 1,4°C maior que a temperatura da vegetação. A temperatura da cobertura fria foi muito próxima da temperatura da vegetação, em média 0,97°C menor. A temperatura máxima do substrato foi de 26,09°C e da vegetação foi de 25,06°C.

A temperatura máxima da superfície externa durante o dia foi de 46,9°C para a cobertura tradicional e 25°C para a cobertura fria. Durante a noite, as temperaturas da cobertura fria e da cobertura tradicional foram menores que a temperatura do ar, com diferenças máximas de 2,34 e 4,15°C respectivamente. Os valores mínimos registrados foram 8,25 e 7,63°C para coberturas tradicional e fria, 8,45°C para a vegetação e 11,14°C para o substrato. A variação máxima diária da temperatura da superfície do telhado verde durante o dia foi 16,61°C para a vegetação e 14,95°C para o substrato, enquanto para coberturas tradicional e fria esses valores foram 36,65 e 17,37°C, respectivamente.

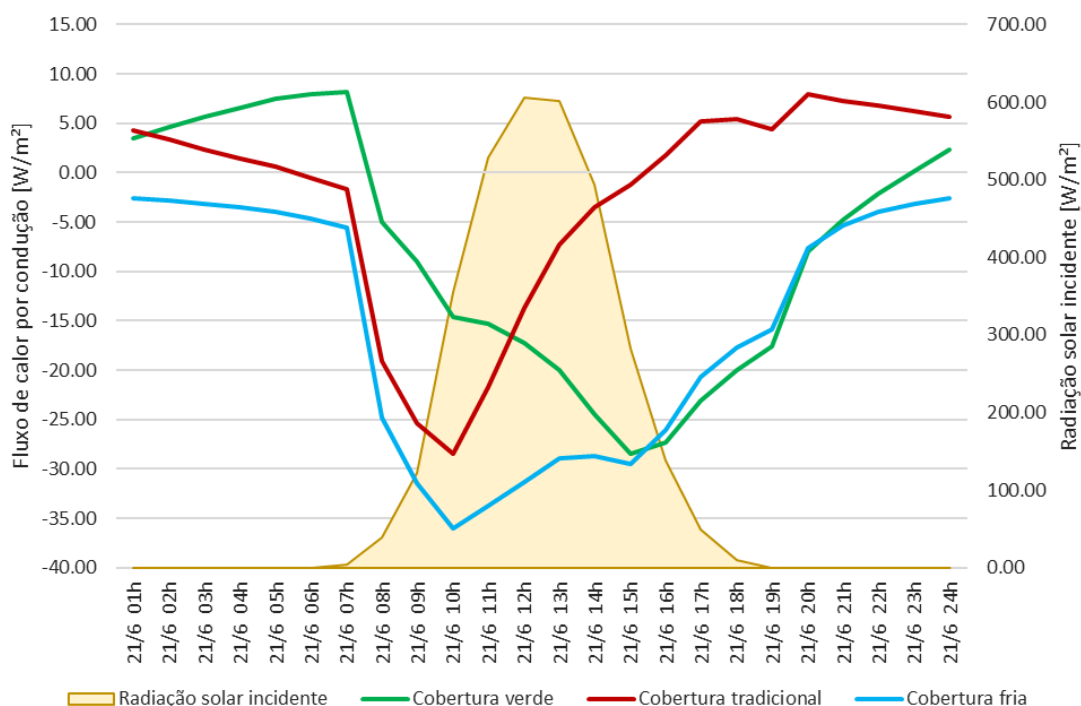
Figura 63 - Temperaturas superficiais internas para 21/6, Brasília.



Fonte: A autora

A menor amplitude da temperatura superficial interna da laje foi novamente da cobertura verde, como pode ser visto na Figura 63. A variação foi de 2,35°C. A amplitude da temperatura superficial interna para as coberturas tradicional e fria foram de 8,82 e 5,57°C, respectivamente. A temperatura máxima foi de 26,23 e 22°C para as coberturas tradicional e fria, respectivamente, e 27,84°C para a cobertura verde. A temperatura mínima para a cobertura tradicional foi de 17,41°C, para a cobertura fria foi de 16,43 e para a cobertura verde, 19,49°C.

Figura 64 - Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/6, Brasília.



Fonte: A autora

Os fluxos de calor por condução podem ser observados na Figura 64. A cobertura verde retira o calor do ambiente interno na maior parte do tempo, exceto entre 23 e 7h. Em todos os horários a cobertura fria retira o calor do ambiente interno, enquanto na cobertura tradicional, as perdas ocorrem entre 6 e 15h. Com a menor quantidade de radiação solar incidente, o tempo para aumentar a temperatura superficial externa da cobertura tradicional é maior, portanto a inversão do fluxo de calor ocorre mais tarde em comparação com o solstício de verão.

O ganho máximo de calor pela cobertura tradicional foi de 7,91 W/m² às 19 e para a cobertura verde, o ganho máximo de calor foi de 8,13 W/m². As perdas máximas de calor foram de 28,41 e 36,05 W/m² para as coberturas tradicional e fria, e para a cobertura verde foi de 28,43 W/m².

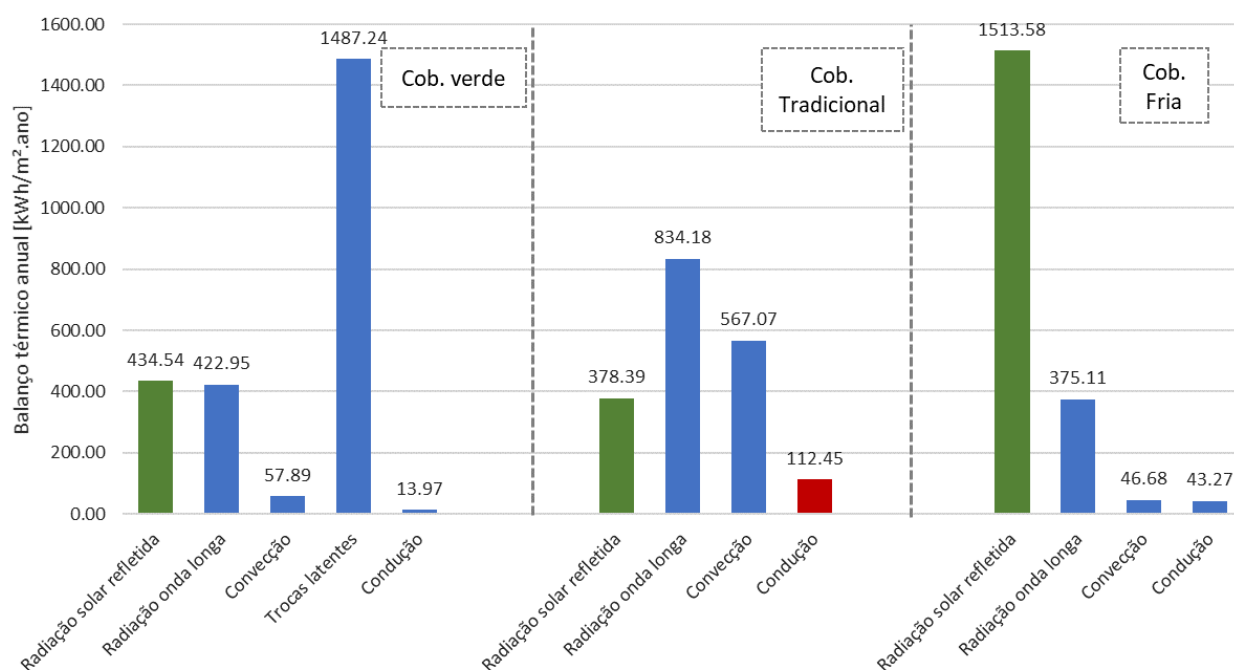
Para as condições climáticas de Brasília, a cobertura verde com elevado índice de área foliar e substrato de 15 cm funcionou. Com relação às temperaturas superficiais, a cobertura verde obteve temperaturas de vegetação muito próximas às temperaturas da cobertura fria, justificando as perdas de calor sensível para o ambiente externo semelhantes, como dito no balanço térmico anual. Entretanto, a cobertura verde obtém vantagem devido à elevada evapotranspiração, que aumenta a umidade no ar e promove o efeito de resfriamento evaporativo.

Com relação às temperaturas superficiais internas, a cobertura verde apresentou a menor amplitude diária tanto no período quente quanto no frio assim como em Porto Alegre. Isso demonstra que condições climáticas diferentes podem tirar proveito das propriedades incorporadas à envoltória pela cobertura verde, como a massa térmica, o sombreamento, o isolamento e o resfriamento evaporativo.

4.3.3 São Luís

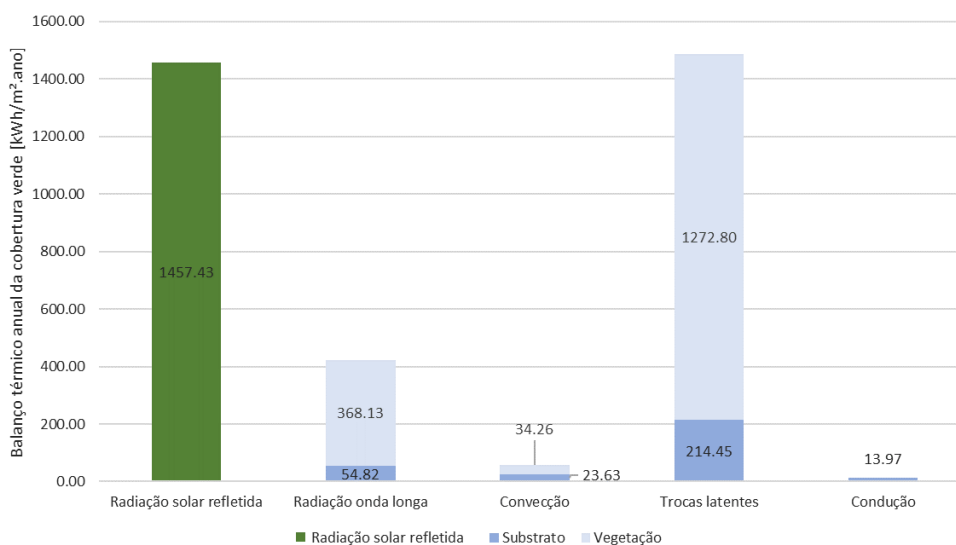
A Figura 65 apresenta os resultados do balanço térmico anual das coberturas estudadas para a cidade de São Luís. A Figura 66 apresenta o balanço térmico da cobertura verde com as parcelas de perdas e ganhos de calor da vegetação e do substrato.

Figura 65 - Balanço térmico da cobertura para a cidade de São Luís.



Fonte: A autora

Figura 66 - Balanço térmico da cobertura verde para a cidade de São Luís.



Fonte: A autora

São Luís apresentou valores de radiação solar absorvida e refletida muito semelhantes a Brasília. A cobertura verde absorveu 1079,04 kWh/m².ano de energia a mais do que a cobertura fria. Assim como em Brasília, o ganho excedente é compensado pela perda de calor latente de 1487,24 kWh/m².ano. As perdas de calor sensível (por radiação e convecção) foram 59,05 kWh/m².ano maior do que a cobertura fria.

O total de perdas por trocas latentes para a cobertura verde foi de 1487,24 kWh/m².ano, sendo 1272,80 kWh/m².ano da vegetação e 214,45 kWh/m².ano do substrato. Apesar de São Luís apresentar a umidade relativa mais elevada que Brasília, fator que limitaria a evapotranspiração, a temperatura do ar e a radiação solar são mais elevadas compensam esta condição. Estes resultados estão de acordo com o estudo de Parizotto e Lamberts (2011).

Na cobertura verde, 422,95 kWh/m².ano de calor são perdidos por meio da radiação de ondas longas. A radiação da vegetação foi quase sete vezes maior em relação ao substrato. Assim como para Brasília, isso pode ser explicado pelo maior sombreamento do substrato provocado pelo elevado índice de área foliar, que reduz o ganho de calor. Para a cobertura tradicional, estas trocas foram 49% maiores (834,18 kWh/m².ano). A cobertura fria foi a que apresentou menor radiação de onda longa, total de 375,11 kWh/m².ano, cerca de 11% menor que a cobertura verde.

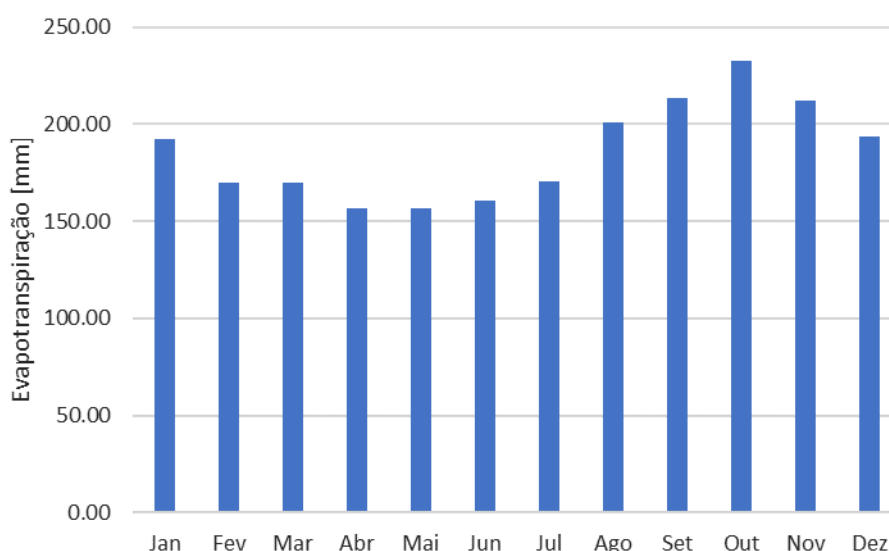
Em relação ao calor perdido por convecção, novamente as coberturas verde e fria apresentaram desempenho semelhantes. Os valores obtidos foram de 57,89

kWh/m².ano e 46,68 kWh/m².ano, respectivamente. A perda de calor por convecção da cobertura tradicional foi de 567,07 kWh/m².ano, cerca de 90% a mais do que as coberturas verde e fria.

Assim como em Brasília, somente a cobertura tradicional apresentou a transferência de calor por condução para o ambiente interno, totalizando 112,45 kWh/m².ano. As trocas de calor por condução da cobertura fria e verde foram de 43,27 kWh/m².ano e 13,97 kWh/m².ano, respectivamente.

Foram registrados 2227,92 mm de água liberada por evapotranspiração, cerca de 28 mm a mais que Brasília. Observando a Figura 67, verifica-se que todos os meses apresentaram elevada evapotranspiração com valores acima de 150 mm.

Figura 67 – Evapotranspiração (mm) para a cidade de São Luís.

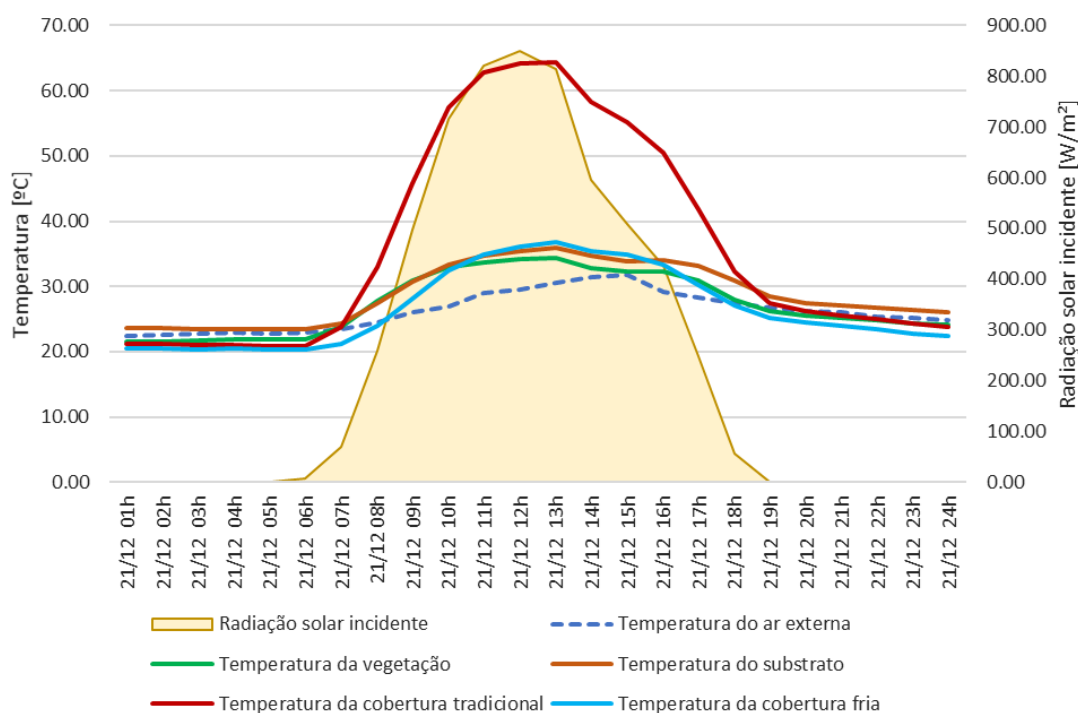


Fonte: A autora

O calor sensível (radiação e convecção) liberado pela cobertura fria foi de 421,79 kWh/m².ano, enquanto a cobertura verde liberou 480,84 kWh/m².ano, cerca de 12% a mais em comparação com a cobertura fria. Por meio de trocas de calor latente, a cobertura verde liberou ainda 2227,92 mm de água por evapotranspiração. Entretanto, de acordo com Masiero e Souza (2018), a umidade pode incentivar a criação de ambientes mais frios durante o dia ou criar ambientes abafados à noite se houver pouco vento. Apesar de São Luís ser uma cidade com temperatura e velocidade do vento mais elevadas que Brasília, seriam necessários mais estudos para verificar o impacto da cobertura verde na temperatura do ar, devido à sua elevada umidade relativa.

4.3.3.1 Comportamento da temperatura superficial no verão

Figura 68 - Temperaturas superficiais externas para 21/12, São Luís.



Fonte: A autora

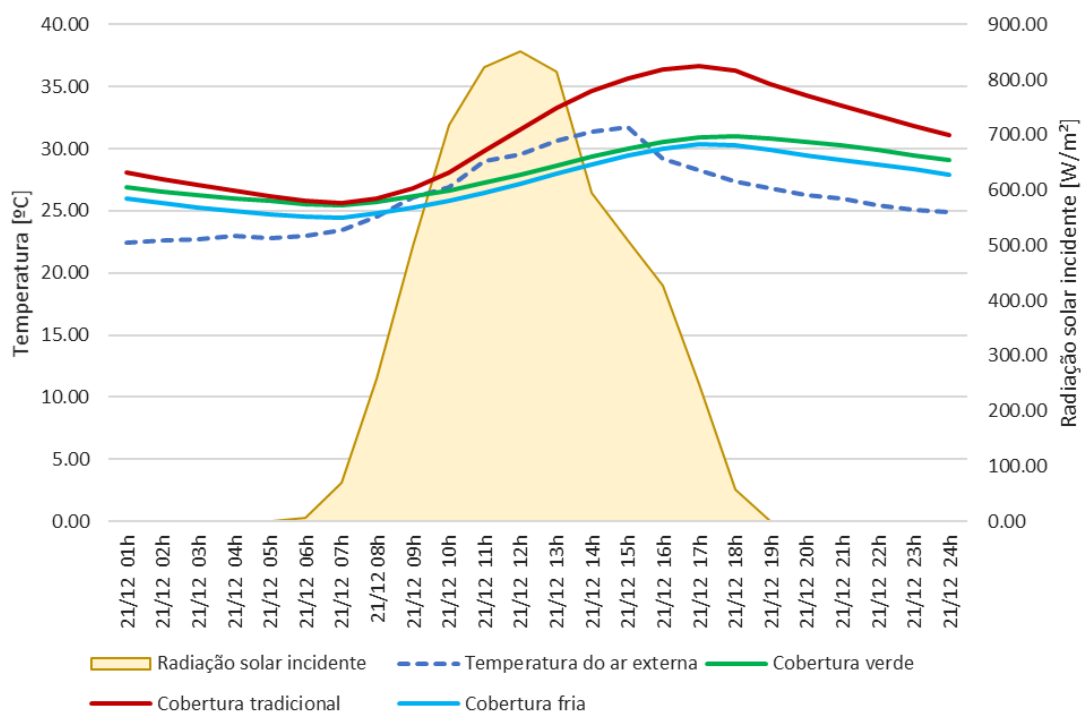
O comportamento das temperaturas superficiais externas em São Luís foi muito parecido com o que ocorreu em Brasília. A cobertura fria e a vegetação apresentaram temperaturas semelhantes, com a temperatura da vegetação em média $0,65^{\circ}\text{C}$ maior que a cobertura fria. No período entre 11 e 16h, a temperatura superficial da cobertura fria foi em média $1,96^{\circ}\text{C}$ maior comparada com a vegetação. Isso ocorreu pelos mesmos motivos apresentados para a análise do dia de solstício de verão em Brasília.

Os picos de temperatura superficial externa foram de $64,43^{\circ}\text{C}$ para a cobertura tradicional e $36,75^{\circ}\text{C}$ para a cobertura fria. Para a cobertura verde, os valores máximos foram de $34,41$ e $35,95^{\circ}\text{C}$ para a vegetação e substrato, respectivamente. Durante a noite, as temperaturas da cobertura fria foram em média $1,96^{\circ}\text{C}$ menores que a temperatura do ar.

Para coberturas tradicional e fria as temperaturas superficiais externas mínimas foram de $20,87$ e $20,33^{\circ}\text{C}$, respectivamente, e para a cobertura verde foram de $21,54$ e $23,41^{\circ}\text{C}$, para a vegetação e substrato, respectivamente. A amplitude diária da temperatura da superfície do telhado verde durante o dia foi $12,87^{\circ}\text{C}$ para

a vegetação e 12,54°C para o substrato, enquanto para coberturas tradicional e fria esses valores foram 43,56 e 16,41°C, respectivamente.

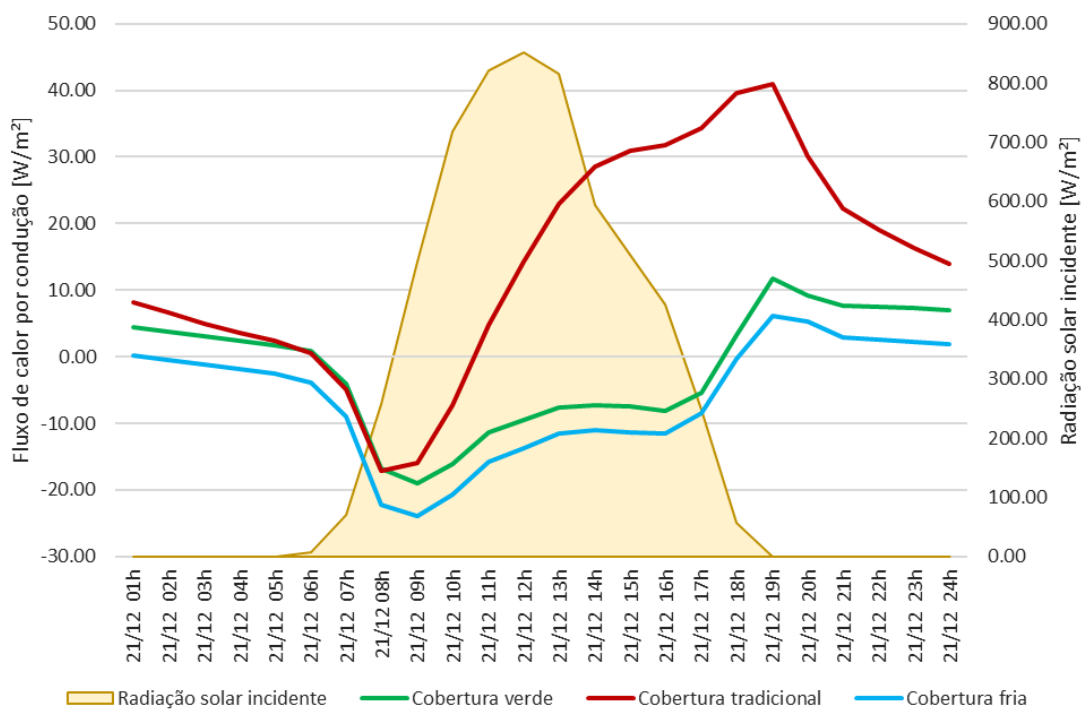
Figura 69 - Temperaturas superficiais internas para 21/12, São Luís.



Fonte: A autora

A Figura 69 mostra a temperatura superficial interna ao longo do dia. Diferente de Brasília, a variação da temperatura superficial interna da cobertura verde acompanha a variação da cobertura fria, porém com valores maiores, em média 0,9°C. A amplitude da temperatura da cobertura verde foi de 5,54°C e a temperatura média foi de 28,2°C. Para as coberturas tradicional e fria, a amplitude de temperatura foi de 11 e 5,88°C respectivamente. Os valores máximos da temperatura da superfície interna foram 36,66 e 30,34°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria, e 31,02°C para a cobertura verde. Os valores mínimos da temperatura interna da superfície foram 25,66 e 24,46°C, respectivamente para as coberturas tradicional e fria, e 25,49°C para a cobertura verde.

Figura 70 - Fluxo de calor por condução através da laje para o dia 21/12, São Luís.



Fonte: A autora

A Figura 70 mostra a densidade de fluxo de calor por condução para a cobertura verde e coberturas de referência. Assim como ocorre com as temperaturas superficiais internas, o fluxo de calor da cobertura verde acompanha o fluxo de calor da cobertura fria. Durante o período em que ocorre a incidência de radiação solar, as coberturas verde e fria retiram calor do ambiente interno por condução. Após cessar a incidência da radiação solar, ambas se tornam fontes de calor, transferindo calor para o ambiente interno. Ao longo do período noturno o ganho de calor vai reduzindo até o fluxo inverter novamente quando há a presença da radiação solar.

O mesmo comportamento pode ser observado na cobertura tradicional, porém a inversão do fluxo de calor ocorre muito antes quando comparado com as coberturas verde e fria. Na cobertura tradicional, a transferência de calor para o ambiente interno ocorre por volta das 11h, enquanto nas coberturas verde e fria ocorre entre 18 e 19h.

O valor máximo de ganho de calor foi de 40,95 W/m² ocorre por volta das 19h na cobertura tradicional. Neste horário, as coberturas verde e fria também apresentaram seus picos de ganho de calor de 11,72 e 6,07 W/m², respectivamente. As perdas máximas de calor foram de 17,06 e 23,95 W/m² para as coberturas tradicional e fria, respectivamente entre 08 e 09h, e para a cobertura verde foi de 19,01 W/m² às 09h.

Em São Luís, a cobertura verde apresentou elevadas trocas de calor latente, porém analisando o balanço térmico anual e nos dias de solstício de verão e inverno, o comportamento da cobertura verde é muito similar ao da cobertura fria. Com relação às temperaturas superficiais, a cobertura fria obteve valores menores que a cobertura verde, com exceção do período de máxima radiação solar incidente, em que as temperaturas da vegetação e do substrato foram menores devido à evapotranspiração. Dessa forma, justifica-se a semelhança observada na perda de calor sensível entre a cobertura verde e fria.

Com relação às temperaturas superficiais internas, as coberturas verde e fria apresentaram o mesmo comportamento com diferenças menores que 1°C. Isso demonstra que, mesmo em um clima com elevada umidade relativa, onde se espera que o efeito de resfriamento evaporativo da seja limitado e o isolamento da camada de substrato prejudique a retirada de calor do ambiente interno, a escolha adequada da tipologia de cobertura verde pode apresentar desempenho semelhante a uma cobertura leve e refletora, com benefícios para o ambiente interno e externo.

É necessário apontar que o software EnergyPlus não realiza cálculos para as interações entre a superfície da edificação e o ambiente externo, que permitiriam avaliar o efeito da cobertura verde no microclima. Portanto mais estudos são necessários comparando o impacto do resfriamento evaporativo da cobertura verde na temperatura do ar externo.

5 CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma análise da influência da tipologia da cobertura verde no desempenho termoenergético de um modelo de edificação (caso 930 da ASHRAE 140) em três zonas bioclimáticas distintas, representadas pelas cidades de Porto Alegre (ZB3), Brasília (ZB4) e São Luís (ZB8). Para tanto, definiram-se duas coberturas como referência, com alta e baixa absorvância solar, denominadas cobertura tradicional e fria, respectivamente. Os parâmetros da cobertura verde foram variados em diferentes níveis, considerando os dados levantados na bibliografia. A análise da influência da tipologia da cobertura verde foi realizada por meio do planejamento de experimento fatorial para o indicador consumo relativo para aquecimento e consumo relativo para refrigeração. Foram identificadas as combinações de parâmetros que geraram os menores indicadores de desempenho, obtendo características de referência de cobertura verde para edificações nas zonas bioclimáticas analisadas. Por fim, foi analisado o balanço térmico anual das combinações com melhor desempenho termoenergético de cada uma das zonas bioclimáticas analisadas, para identificar os benefícios para o ambiente externo com o emprego da cobertura verde.

Para os indicadores consumo relativo para aquecimento e consumo relativo para refrigeração, obteve-se maior influência os parâmetros de índice de área foliar da vegetação (LAI), espessura e transmitância térmica do substrato nas três cidades analisadas.

Percebeu-se que estes parâmetros apresentam efeitos conflitantes entre os indicadores de desempenho, gerando bons resultados para uma determinada estação do ano e prejudicando o desempenho termoenergético em outros períodos. Isto dificulta a definição da cobertura verde a ser utilizada para otimização da eficiência energética das edificações. Dessa forma, a combinação dos indicadores para analisar o consumo total de energia é uma forma eficiente para auxiliar na escolha da tipologia da cobertura verde em relação ao desempenho anual da edificação de acordo com as condições climáticas de cada região.

Para Porto Alegre, os parâmetros mais influentes no consumo de energia total para ar condicionado foram aqueles relacionados às condições de inverno. Na análise das simulações individuais, todos os casos com menor consumo de energia são compostos por cobertura verde com baixo índice de área foliar, substrato espesso e com baixa transmitância térmica. Com relação aos benefícios para o

ambiente externo, a cobertura fria foi a que menos perdeu calor sensível para o ambiente externo. A cobertura verde perdeu grande quantidade de calor sensível, porém compensou esta perda com a liberação de umidade devido às trocas de calor latente, o que promove a redução da temperatura do ar.

Para Brasília, os parâmetros que exercem maior influência no consumo de energia total para ar condicionado são aqueles relacionados tanto ao consumo relativo para refrigeração quanto ao consumo relativo para aquecimento. Devido a isso, há uma maior variação nas combinações de parâmetros, apresentando em comum o elevado índice de área foliar e altura da vegetação, substrato espesso e transmitância térmica. Para o ambiente externo, a cobertura verde foi a melhor opção com baixa perda de calor sensível e elevada troca de calor latente.

Em função do clima mais extremo, em São Luís foram consideradas apenas as condições para verão. Os casos de cobertura verde com menor consumo foram aqueles com elevado índice de área foliar e altura da vegetação, substrato em espessura intermediária e elevada transmitância térmica. Porém, o consumo de energia da cobertura fria foi menor do que a cobertura verde. Em relação ao ambiente externo, as coberturas fria e verde obtiveram semelhantes perdas de calor sensível, porém a umidade liberada pelas trocas latentes na cobertura verde foi tão elevada quanto em Brasília.

Salienta-se que além do foco para as perdas de calor sensível e latente como critério de análise do benefício atribuído ao ambiente externo, a análise conjunta da quantidade da radiação solar que é refletida pela cobertura também é importante. De forma geral, a cobertura verde assimila grande parte da radiação solar incidente sobre sua superfície devolvendo ao ambiente externo na forma de calor latente. Já a cobertura fria, embora libere menos calor sensível, devolve ao ambiente externo uma parcela significativa da radiação solar, que pode ser prejudicial ao entorno.

Nota-se que alguns parâmetros da cobertura verde se mostram fundamentais para a obtenção de melhores níveis de eficiência energética em edificações. O índice de área foliar, a espessura e transmitância térmica do substrato são características que merecem atenção ao empregar uma cobertura verde como uma estratégia passiva de eficiência energética. A cobertura verde é difundida como uma boa opção para climas quentes e frios, no entanto, observa-se que a escolha inadequada da tipologia pode ser prejudicial dependendo das condições climáticas. Além disso, a utilização desta não garante um bom desempenho termoenergético. Pelo contrário,

a combinação inadequada das características que compõem a cobertura verde pode acarretar em maiores consumos de energia.

Diante disso, esse estudo contribui para o desenvolvimento de estratégias voltadas ao desempenho termoenergético de edificações com coberturas verdes, identificando os parâmetros mais eficientes em três zonas bioclimáticas brasileiras. Essas informações podem ser utilizadas como referência para direcionar esforços e recursos na pesquisa das contribuições da cobertura verde para o ambiente interno e externo em outras condições climáticas da envoltória de edificações leves, assim como na definição da cobertura verde na falta de estudos específicos.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Pode-se apontar algumas limitações do estudo, relacionadas à aplicação do método:

- Limitações associadas às variáveis e cálculos do software EnergyPlus. O software não calcula a influência da edificação no entorno, dessa forma a análise de benefícios para o ambiente externo é limitada.
- O balanço termoenergético é realizado a partir de arquivos climáticos. A atualização destes arquivos pode gerar resultados diferentes, que demonstrem o melhor ou pior desempenho termoenergético da cobertura verde.
- Os arquivos climáticos não contêm dados de precipitação, que podem afetar os dados de balanço energético.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Analisar diferentes tipologias de cobertura verde em outras regiões do país;
- Analisar outros parâmetros na edificação, como as propriedades térmicas de paredes internas, iluminação e ventilação natural, mantidas constante no estudo;
- Analisar o efeito da cobertura verde no ambiente externo, como a temperatura do ar, umidade relativa, redução do escoamento superficial de água pluvial.

REFERÊNCIAS

_____. **ABNT NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ALVIZURI, J.; CATALDO, J.; SMALLS-MANTEY, L, A.; MONTALTO, F, A. Green roof thermal buffering: Insights derived from fixed and portable monitoring equipment. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 455-468, set. 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.06.020.

ASCIONE, F. Energy conservation and renewable technologies for buildings to face the impact of the climate change and minimize the use of cooling. **Solar Energy**, v. 154, p. 34-100, set. 2017. DOI: 10.1016/j.solener.2017.01.022.

ASCIONE, F.; BIANCO, N.; de ROSSI, F.; TURNI, G.; VANOLI, G, P. Green roofs in European climates. Are effective solutions for the energy savings in air-conditioning?. **Applied Energy**, v 104, p. 845-859, abr. 2013. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.11.068

ASCIONE, F; MASI, R. F. D.; SANTAMOURIS, M.; RUGGIERO, S.; VANOLI, G. P. Experimental and numerical evaluations on the energy penalty of reflective roofs during the heating season for Mediterranean climate. **Energy**, v. 144, p. 178-199, fev. 2018. DOI: 10.1016/j.energy.2017.12.018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR 15220. Partes 1, 2 e 3. Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

BERARDI, U. The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. **Energy and Buildings**, v. 121, p. 217–229, mar. 2016. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.03.021.

BEVILACQUA, P.; COMA, J.; PÉREZ, G.; CHOCARRO, C.; JUÁREZ, A.; SOLÉ, C.; SIMONE, M. D.; CABEZA, L. F. Plant cover and floristic composition effect on thermal behaviour of extensive green roofs. **Building and Environment**, v. 92, p. 305-316, mai, 2015. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.04.026

BEVILACQUA, P.; MAZZEO, D.; BRUNO, R.; ARCURI, N. Surface temperature analysis of an extensive green roof for themitigation of urban heat island in southern

Mediterranean climate. **Energy and Buildings** v. 150, p. 318–327, jun. 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.05.081

BRASIL. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). **Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas**. Florianópolis, 2017.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional ano base 2018**. Rio de Janeiro, 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria nº248, de 10 de julho de 2018. **Instrução Normativa INMETRO para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Brasília, DF, 2018.

CARVALHO, G. C. **Avaliação de Sistemas de Telhados Verdes: Análise Térmica e Hídrica nos Diferentes Sistemas Cultivados com *Callisia repens***. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Sorocaba – SP, 2018.

CASCONE, S.; CATANIA, F.; GAGLIANO, A.; SCIUTO, G. A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings. **Building and Environment**, v. 136, p. 227–239, mar, 2018. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.03.052.

CASTALDO, V. L.; PISELLO, A. L.; PISELLI, C.; FABIANI, C.; COTANA, F.; SANTAMOURIS, M. **How outdoor microclimate mitigation affects building thermal-energy performance: A new design-stage method for energy saving in residential near-zero energy settlements in Italy**. *Renewable Energy*, v. 127, p. 920-935, mai, 2018. DOI: 10.1016/j.renene.2018.04.090

CHAGOLLA-ARANDA, M, A.; SIMÁ, E.; XAMÁN, J.; ÁLVAREZ, G.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, I.; TÉLLEZ-VELÁZQUEZ, E. Effect of irrigation on the experimental thermal performance of a green roof in a semi-warm climate in Mexico. **Energy and Buildings** v. 154, p. 232-243, nov. 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.08.082.

CHEN, H.; OOKA, R.; HUANG, H.; TSUCHIYA, T. Study on mitigation measures for outdoor thermal environment on present urban blocks in Tokyo using coupled

simulation. **Building and Environment** v. 44, p. 2290–2299, nov. 2009. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.03.012

COMA, J.; GRACIA, A. D.; CHÀFER, M.; PÉREZ, G.; CABEZA, L. F. Thermal characterization of different substrates under dried conditions for extensive green roofs. **Energy and Buildings** v. 144, p. 175–180, mar. 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.031

D'ORAZIO, W.; DI PERNA, C.; DI GIUSEPPE, E. Green roof yearly performance: A case study in a highly insulated building under temperate climate. **Energy and Buildings** v. 55, p. 439–451, dez. 2012. DOI: /10.1016/j.enbuild.2012.09.009

DIAS, A. E. **Desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2016.

DIMOUDI, A.; NOKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, v 35, p. 69–76, jan. 2003. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00081-6

DJEDJIG, R.; BOZONNET, E.; BELARBI, R. Analysis of thermal effects of vegetated envelopes: Integration of a validated model in a building energy simulation program. **Energy and Buildings** v. 86, p. 93-103, jan. 2015. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.09.057.

DOE. DEPARTMENT OF ENERGY. Engineering Reference: Documento de acesso aos algoritmos de cálculo do EnergyPlus. The board of trustees of the University of Illinois, the regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 2017.

ECOTELHADO. Disponível em: <https://ecotelhado.com/produto/ecotelhado-telhado-verde/#prettyPhoto>. Acesso em 19-05-2018

EKSI, M.; ROWE, D. B.; WICHMAN, I. S.; ANDRESEN, J. A. Effect of substrate depth, vegetation type, and season on green roof thermal properties. **Energy and Buildings** v. 145, p. 174–187, abr. 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.04.017.

FERRANTE, P.; LA GENNUSA, M.; PERI, G.; RIZZO, G.; SCACCIANOCE, G. Vegetation growth parameters and leaf temperature: Experimental results from a six plots green roofs' system. **Energy** v. 115, p. 1723-1732, nov. 2016. DOI: 10.1016/j.energy.2016.07.085

FERREIRA, C.; SOUZA, H. D.; ASSIS, E. D. Estudo do clima brasileiro: reflexões e recomendações sobre a adequação climática de habitações. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais**. Maceió, 2014.

FOUSTALIERAKI, M.; ASSIMAKOPOULOS, M. N.; SANTAMOURIS, M.; PANGALOU, H. Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. **Energy and Buildings** v. 135, p. 33-38, jan. 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.10.056

GAGLIANO, A.; DETOMMASO, M.; NOCERA, F.; PATANIA, F.; ANELI, S. The retrofit of existing buildings through the exploitation of the green roofs – a simulation study. **Energy Procedia** v. 62, p. 52-61, 2014. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.366

GAGLIANO, A.; DETOMMASO, M.; NOCERA, F.; EVOLA, G. A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. **Building and Environment** v. 90, p. 71-81, ago 2015. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.02.043.

GANGULY, A; CHOWDHURY, D; NEOGI, S. Performance of building roofs on energy efficiency – A review. **Energy Procedia** v. 90, p. 200-2008, 2016, DOI: 10.1016/j.egypro.2016.11.186

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy** v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.02.020.

HE, Y.; YU, H.; DONG, N.; YE, H. Thermal and energy performance assessment of extensive green roof in summer: A case study of a lightweight building in Shanghai. **Energy and Buildings** v. 127, p. 762–773, jun. 2016. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.06.016

HUANG, Y. Y.; CHEN, C. T.; LIU, W. T. Thermal performance of extensive green roofs in a subtropical metropolitan area. **Energy and Buildings**, v. 159, p. 39-53, jan. 2018. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.10.039

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – Governo Federal. **Censo Demográfico**. 1991. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – Governo Federal. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>

JAFFAL, A.; OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI, R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. **Renewable Energy** v. 43, p.157-164, dez. 2011. DOI: 10.1016/j.renene.2011.12.004.

KARACHALIOU, P; SANTAMOURIS, M; PANGALOU, H. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings* v. 114, p. 256-264, fev/2016. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.04.055.

KREBS, L. F. **Extensive green roofs in Porto Alegre, Brazil : Effect on indoor thermal comfort in residential buildings**. Tese de Doutorado. Lund University. Suécia, 2018.

KOLOKOTSA, D.; SANTAMOURIS, M.; ZEREFOS, S.C. Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in European climates for office buildings under free floating conditions. **Solar Energy** v. 95, p. 118-130, jul/2013. DOI: 10.1016/j.solener.2013.06.001.

LAMBERTS,R.; DUTRA,L.; PEREIRA,F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3º edição. UFSC: Florianópolis, 2015.

LOPES, A. A. **Construção sustentável: medidas construtivas sustentáveis que buscam aumentar a eficiência no uso de recursos e minimizar os impactos ao meio ambiente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2013.

LOPES, D. A. R. **Avaliação do Comportamento Térmico de Coberturas Verdes Leves (CVLs) Aplicadas aos Climas Tropicais**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2007.

MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. Mapping humidity plume over local climate zones in a high-altitude tropical climate city, Brazil. **Ambiente Construído**, v 18, p. 177-197, dez. 2018. DOI: 10.1590/s1678-86212018000400300.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. Apostila do Curso Básico do Programa EnergyPlus. 2009.

MORAIS, C.S. **Desempenho Térmico de Coberturas Vegetais em Edificações na Cidade de São Carlos – SP**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos – SP, 2004.

NICHOU, A.; PAPAKONSTANTINO, K.; SANTAMOURIS, M; TSANGRASSOULIS, A.; MIHALAKAKOU, G. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **Energy and Buildings**, v 33, p. 719–729, set. 2001. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00062-7

OULDBOUKHITINE, S. E.; BELARBI, R.; SAILOR, D. J. Experimental and numerical investigation of urban street canyons to evaluate the impact of green roof inside and outside Buildings. **Applied Energy** v. 114, p. 273–282, out. 2013. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.09.073

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings** v. 43, n. 7, p. 1712-1722, jul. 2011. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.03.014.

PEREIRA, C. D. **Relatório de Medições Realizadas na Casa Eficiente**. Universidade Federal de Santa Catarina – SC, 2008.

PEREIRA, C. D. **A influência no Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares Ocupadas e Ventiladas Naturalmente**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – SC, 2009.

ROMETO, M. A. B. et al. **Mudanças Climáticas e Ilhas de Calor Urbanas**. Brasília: ETB, 2019.

SAADATIAN, O.; SOPIAN, Q.; SALLEH, E.; LIM, C. H.; RIFFAT, S.; SAADATIAN, E.; TOUDESCHI, A.; SULAIMAN, M. Y. A review of energy aspects of green roofs. **Renewable And Sustainable Energy Reviews** [s.l.], v. 23, p.155-168, jul. 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.02.022.

SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **Energy and Buildings** v. 40, n. 8, p.1466-1478, jan. 2008. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.02.001.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy** v. 103, p. 682-703, mai. 2014. DOI: 10.1016/j.solener.2012.07.003.

SMITH, K. R.; ROEBBER, P. J. Green Roof Mitigation Potential for a Proxy Future Climate Scenario in Chicago, Illinois. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* v. 50, p. 507–522, mar. 2011. DOI: 10.1175/2010JAMC2337.1

TABARES-VELASCO, P. C.; SREBRIC, J. Experimental quantification of heat and mass transfer process through vegetated roof samples in a new laboratory setup. **International Journal of Heat and Mass Transfer** v. 54, p. 5149–5162, set. 2011. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.08.034

VERA, S.; PINTO, C.; TABARES-VELASCO, P. C.; BUSTAMANTE, W.; VICTORERO, F.; GIRONÁS, J.; BONILLA, C. A. Influence of vegetation, substrate, and thermal insulation of an extensive vegetated roof on the thermal performance of retail stores in semiarid and marine climates. **Energy and Buildings** v. 146, p. 312–321, abr. 2017. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.04.037

WONG, N. H.; CHEN, Y.; ONG, C. L.; SIA, A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment** v. 38, p. 261–271, fev. 2003. DOI: 10.1016/S0360-1323(02)00066-5

YANG, J.; KUMAR, D. I. M.; PYRGOU, A.; CHONG, A.; SANTAMOURIS, M.; KOLOKOTSA D.; LEE, S. E. Green and cool roofs' urban heat island mitigation

potential in tropical climate. **Solar Energy** v. 173, p. 597–609, ago. 2018. DOI: 10.1016/j.solener.2018.08.006.

APÊNDICE I

Cálculo da troca de calor por radiação de onda longa pela vegetação

$$\sigma_f(\varepsilon_v I_{ir} - \varepsilon_v \sigma T_v^4)$$

Cálculo da troca de calor por radiação de onda longa pelo substrato

$$(1 - \sigma_f)(\varepsilon_s I_{ir} - \varepsilon_s \sigma T_s^4)$$

Onde:

$$\sigma_f = 0,9 - 0,7 \exp - 0,75LAI$$

| LAI | σ_f |
|------|------------|
| 1,26 | 0,63 |
| 5,0 | 0,88 |

| Variáveis necessárias | Variável correspondente - EnergyPlus |
|------------------------------|---|
| Temperatura da vegetação [K] | Green Roof Vegetation Temperature [°C] |
| Temperatura do substrato [K] | Green Roof Soil Temperature [°C] |
| Radiação solar incidente | Surface Outside Face Incident Solar Radiation Rate per Area [W/m ²] |
| Radiação infravermelho | Site Horizontal Infrared Radiation Rate per Area [W/m ²] |

APÊNDICE II

Neste Apêndice são apresentadas as 1944 combinações paramétricas dos parâmetros da cobertura verde utilizados nas simulações computacionais.

Tabela 22 - Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 2 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 3 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 4 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 5 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 6 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 7 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 8 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 9 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 10 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 11 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 12 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 13 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 14 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 15 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 16 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 17 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 18 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 19 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 20 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 21 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 22 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 23 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 24 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 25 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 26 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 27 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 28 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 29 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 30 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 31 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 32 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 33 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 34 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 35 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 36 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 37 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 38 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 39 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 40 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 41 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 42 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 43 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 44 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 45 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 46 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 47 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 48 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |

Tabela 22 - Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 49 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 50 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 51 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 52 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 53 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 54 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 55 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 56 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 57 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 58 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 59 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 60 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 61 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 62 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 63 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 64 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 65 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 66 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 67 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 68 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 69 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 70 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 71 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 72 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 73 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 74 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 75 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 76 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 77 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 78 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 79 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 80 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 81 | 0.1 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 82 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 83 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 84 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 85 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 86 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 87 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 88 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 89 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 90 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 91 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 92 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 93 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 94 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 95 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 96 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 97 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 98 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 99 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 100 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 101 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 102 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 103 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |

Tabela 22 - Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 114 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 115 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 116 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 117 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 118 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 119 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 120 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 121 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 122 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 123 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 124 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 125 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 126 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 127 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 128 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 129 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 130 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 131 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 132 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 133 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 134 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 135 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 136 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 137 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 138 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 139 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 140 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 141 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 142 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 143 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 144 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 145 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 146 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 147 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 148 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 149 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 150 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 151 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 152 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 153 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 154 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 155 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 156 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 157 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 158 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 159 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 160 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 161 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 162 | 0.1 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 163 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 164 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 165 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 166 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 167 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 168 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 169 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 170 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 171 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 172 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 173 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 174 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 175 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 176 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 177 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 178 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 179 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 180 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 181 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 182 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 183 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 184 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 185 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 186 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 187 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 188 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 189 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 190 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 191 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 192 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 193 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 194 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 195 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 196 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 197 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 198 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 199 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 200 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 201 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 202 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 203 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 204 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 205 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 206 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 207 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 208 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 209 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 210 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 211 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 212 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 213 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 214 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 215 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 216 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 217 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 218 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 219 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 220 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 221 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 222 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 223 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 224 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 225 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 226 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 227 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 228 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 229 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 230 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 231 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 232 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 233 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 234 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 235 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 236 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 237 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 238 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 239 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 240 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 241 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 242 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 243 | 0.1 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 244 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 245 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 246 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 247 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 248 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 249 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 250 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 251 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 252 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 253 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 254 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 255 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 256 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 257 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 258 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 259 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 260 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 261 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 262 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 263 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 264 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 265 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 266 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 267 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 268 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 269 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 270 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 271 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 272 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 273 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 274 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 275 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 276 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 277 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 278 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|----------------|------------|
| 279 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 280 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 281 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 282 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 283 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 284 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 285 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 286 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 287 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 288 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 289 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 290 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 291 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 292 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 293 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 294 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 295 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 296 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 297 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 298 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 299 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 300 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 301 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 302 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 303 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 304 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 305 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 306 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 307 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 308 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 309 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 310 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 311 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 312 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 313 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 314 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 315 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 316 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 317 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 318 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 319 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 320 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 321 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 322 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 323 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 324 | 0.1 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 325 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 326 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 327 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 328 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 329 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 330 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 331 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 332 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 333 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 334 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 335 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 336 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 337 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 338 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 339 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 340 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 341 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 342 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 343 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 344 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 345 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 346 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 347 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 348 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 349 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 350 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 351 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 352 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 353 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 354 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 355 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 356 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 357 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 358 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 359 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 360 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 361 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 362 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 363 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 364 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 365 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 366 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 367 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 368 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 369 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 370 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 371 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 372 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 373 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 374 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 375 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 376 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 377 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 378 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 379 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 380 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 381 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 382 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 383 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 384 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 385 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 386 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 387 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 388 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 389 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 390 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 391 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 392 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 393 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 394 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 395 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 396 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 397 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 398 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 399 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 400 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 401 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 402 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 403 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 404 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 405 | 0.1 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 406 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 407 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 408 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 409 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 410 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 411 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 412 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 413 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 414 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 415 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 416 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 417 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 418 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 419 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 420 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 421 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 422 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 423 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 424 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 425 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 426 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 427 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 428 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 429 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 430 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 431 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 432 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 433 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 434 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 435 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 436 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 437 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 438 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 439 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 440 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 441 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 442 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 443 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 444 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 445 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 446 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 447 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 448 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 449 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 450 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 451 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 452 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 453 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 454 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 455 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 456 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 457 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 458 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 459 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 460 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 461 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 462 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 463 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 464 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 465 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 466 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 467 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 468 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 469 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 470 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 471 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 472 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 473 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 474 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 475 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 476 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 477 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 478 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 479 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 480 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 481 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 482 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 483 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 484 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 485 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 486 | 0.1 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 487 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 488 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 489 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 490 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 491 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 492 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 493 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 494 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 495 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 496 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 497 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 498 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 499 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 500 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 501 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 502 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 503 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 504 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 505 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 506 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 507 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 508 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 509 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 510 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 511 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 512 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 513 | 0.1 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 514 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 515 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 516 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 517 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 518 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 519 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 520 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 521 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 522 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 523 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 524 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 525 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 526 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 527 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 528 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 529 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 530 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 531 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 532 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 533 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 534 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 535 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 536 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 537 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 538 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 539 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 540 | 0.1 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 541 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 542 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 543 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 544 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 545 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 546 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 547 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 548 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 549 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 550 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 551 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 552 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 553 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 554 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 555 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 556 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 557 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 558 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 559 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 560 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 561 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 562 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 563 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 564 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 565 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 566 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 567 | 0.1 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 568 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 569 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 570 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 571 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 572 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 573 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 574 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 575 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 576 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 577 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 578 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 579 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 580 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 581 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 582 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 583 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 584 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 585 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 586 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 587 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 588 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 589 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 590 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 591 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 592 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 593 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 594 | 0.1 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 595 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 596 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 597 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 598 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 599 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 600 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 601 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 602 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 603 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 604 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 605 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 606 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 607 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 608 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 609 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 610 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 611 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 612 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 613 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 614 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 615 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 616 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 617 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 618 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 619 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 620 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 621 | 0.1 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 622 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 623 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 624 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 625 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 626 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 627 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 628 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 629 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 630 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 631 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 632 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 633 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 634 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 635 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 636 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 637 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 638 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 639 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 640 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 641 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 642 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 643 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 644 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 645 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 646 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 647 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 648 | 0.1 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 649 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 650 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 651 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 652 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 653 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 654 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 655 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 656 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 657 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 658 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 659 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 660 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 661 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 662 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 663 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 664 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 665 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 666 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 667 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 668 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 669 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 670 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 671 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 672 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 673 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 674 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 675 | 0.1 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 676 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 677 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 678 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 679 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 680 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 681 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 682 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 683 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 684 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 685 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 686 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 687 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 688 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 689 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 690 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 691 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 692 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 693 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 694 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 695 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 696 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 697 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 698 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 699 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 700 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 701 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 702 | 0.1 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 703 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 704 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 705 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 706 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 707 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 708 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 709 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 710 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 711 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 712 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 713 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 714 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 715 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 716 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 717 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 718 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 719 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 720 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 721 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 722 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 723 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 724 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 725 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 726 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 727 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 728 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 729 | 0.1 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 730 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 731 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 732 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 733 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 734 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 735 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 736 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 737 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 738 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 739 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 740 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 741 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 742 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 743 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 744 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 745 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 746 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 747 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 748 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 749 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 750 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 751 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 752 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 753 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 754 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 755 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 756 | 0.1 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 757 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 758 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 759 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 760 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 761 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 762 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 763 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 764 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 765 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 766 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 767 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 768 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 769 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 770 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 771 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 772 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 773 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 774 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 775 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 776 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 777 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 778 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 779 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 780 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 781 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 782 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 783 | 0.1 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 784 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 785 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 786 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 787 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 788 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 789 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 790 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 791 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 792 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 793 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 794 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 795 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 796 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 797 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 798 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 799 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 800 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 801 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 802 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 803 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 804 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 805 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 806 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 807 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 808 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 809 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 810 | 0.1 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 811 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 812 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 813 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 814 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 815 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 816 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 817 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 818 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 819 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 820 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 821 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 822 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 823 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 824 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 825 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 826 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 827 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 828 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 829 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 830 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 831 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 832 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 833 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 834 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 835 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 836 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 837 | 0.1 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 838 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 839 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 840 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 841 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 842 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 843 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 844 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 845 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 846 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 847 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 848 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 849 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 850 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 851 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 852 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 853 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 854 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 855 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 856 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 857 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 858 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 859 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 860 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 861 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 862 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 863 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 864 | 0.1 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 865 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 866 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 867 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 868 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 869 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 870 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 871 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 872 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 873 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 874 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 875 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 876 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 877 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 878 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 879 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 880 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 881 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 882 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 883 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 884 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 885 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 886 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 887 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 888 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 889 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 890 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 891 | 0.1 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 892 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 893 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 894 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 895 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 896 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 897 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 898 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 899 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 900 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 901 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 902 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 903 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 904 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 905 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 906 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 907 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 908 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 909 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 910 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 911 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 912 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 913 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 914 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 915 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 916 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 917 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 918 | 0.1 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 919 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 920 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 921 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 922 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 923 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 924 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 925 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 926 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 927 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 928 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 929 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 930 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 931 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 932 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 933 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 934 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 935 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 936 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 937 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 938 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 939 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 940 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 941 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 942 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 943 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 944 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 945 | 0.1 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 946 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 947 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 948 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 949 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 950 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 951 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 952 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 953 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 954 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 955 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 956 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 957 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 958 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 959 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 960 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 961 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 962 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 963 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 964 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 965 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 966 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 967 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 968 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 969 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 970 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 971 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 972 | 0.1 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 973 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 974 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 975 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 976 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 977 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 978 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 979 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 980 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 981 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 982 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 983 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 984 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 985 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 986 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 987 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 988 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 989 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 990 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 991 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 992 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 993 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 994 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 995 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 996 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 997 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 998 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 999 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1000 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1001 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1002 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1003 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1004 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1005 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1006 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1007 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1008 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1009 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1010 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1011 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1012 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1013 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1014 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1015 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1016 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1017 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1018 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1019 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1020 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1021 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1022 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1023 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1024 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1025 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1026 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1027 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1028 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1029 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1030 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1031 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1032 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1033 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1034 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1035 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1036 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1037 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1038 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1039 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1040 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1041 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1042 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1043 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1044 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1045 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1046 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1047 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1048 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1049 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1050 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1051 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1052 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1053 | 0.35 | 0.12 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1054 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1055 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1056 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1057 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1058 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1059 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1060 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1061 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1062 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1063 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1064 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1065 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1066 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1067 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1068 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1069 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1070 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1071 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1072 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1073 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1074 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1075 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1076 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1077 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1078 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1079 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1080 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1081 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1082 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1083 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1084 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1085 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1086 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1087 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1088 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1089 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1090 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1091 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1092 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1093 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1094 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1095 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1096 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1097 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1098 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1099 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1100 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1101 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1102 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1103 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1104 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1105 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1106 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1107 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1108 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1109 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1110 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1111 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1112 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1113 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1114 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1115 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1116 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1117 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1118 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1119 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1120 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1121 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1122 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1123 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1124 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1125 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1126 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1127 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1128 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1129 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1130 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1131 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1132 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1133 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1134 | 0.35 | 0.12 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1135 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1136 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1137 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1138 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1139 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1140 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1141 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1142 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1143 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1144 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1145 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1146 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1147 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1148 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1149 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1150 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1151 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1152 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1153 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1154 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1155 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1156 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1157 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1158 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1159 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1160 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1161 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1162 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1163 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1164 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1165 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1166 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1167 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1168 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1169 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1170 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1171 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1172 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1173 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1174 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1175 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1176 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1177 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1178 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1179 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1180 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1181 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1182 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1183 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1184 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1185 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1186 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1187 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1188 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1189 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1190 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1191 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1192 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1193 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1194 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1195 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1196 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1197 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1198 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1199 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1200 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1201 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1202 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1203 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1204 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1205 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1206 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1207 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1208 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1209 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1210 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1211 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1212 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1213 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1214 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1215 | 0.35 | 0.12 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1216 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1217 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1218 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1219 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1220 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1221 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1222 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1223 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1224 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1225 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1226 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1227 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1228 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1229 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1230 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1231 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1232 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1233 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1234 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1235 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1236 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1237 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1238 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1239 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1240 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1241 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1242 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1243 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1244 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1245 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1246 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1247 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1248 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1249 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1250 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1251 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1252 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1253 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1254 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1255 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1256 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1257 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1258 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1259 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1260 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1261 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1262 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1263 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1264 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1265 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1266 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1267 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1268 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1269 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1270 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1271 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1272 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1273 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1274 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1275 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1276 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1277 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1278 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1279 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1280 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1281 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1282 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1283 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1284 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1285 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1286 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1287 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1288 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1289 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1290 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1291 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1292 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1293 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1294 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1295 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1296 | 0.35 | 1.26 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1297 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1298 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1299 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1300 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1301 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1302 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1303 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1304 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1305 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1306 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1307 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1308 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1309 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1310 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1311 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1312 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1313 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1314 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1315 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1316 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1317 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1318 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1319 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1320 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1321 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1322 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1323 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1324 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1325 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1326 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1327 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1328 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1329 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1330 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1331 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1332 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1333 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1334 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1335 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1336 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1337 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1338 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1339 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1340 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1341 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1342 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1343 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1344 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1345 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1346 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1347 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1348 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1349 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1350 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1351 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1352 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1353 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1354 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1355 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1356 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1357 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1358 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1359 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1360 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1361 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1362 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1363 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1364 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1365 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1366 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1367 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1368 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1369 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1370 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1371 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1372 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1373 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1374 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1375 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1376 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1377 | 0.35 | 1.26 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1378 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1379 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1380 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1381 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1382 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1383 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1384 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1385 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1386 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1387 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1388 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1389 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1390 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1391 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1392 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1393 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1394 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1395 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1396 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1397 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1398 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1399 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1400 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1401 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1402 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1403 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1404 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1405 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1406 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1407 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1408 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1409 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1410 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1411 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1412 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1413 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1414 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1415 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1416 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1417 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1418 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1419 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1420 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1421 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1422 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1423 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1424 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1425 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1426 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1427 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1428 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1429 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1430 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1431 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1432 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1433 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1434 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1435 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1436 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1437 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1438 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1439 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1440 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1441 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1442 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1443 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1444 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1445 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1446 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1447 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1448 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1449 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1450 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1451 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1452 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1453 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1454 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1455 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1456 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1457 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1458 | 0.35 | 1.26 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1459 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1460 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1461 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1462 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1463 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1464 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1465 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1466 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1467 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1468 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1469 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1470 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1471 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1472 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1473 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1474 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1475 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1476 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1477 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1478 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1479 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1480 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1481 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1482 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1483 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1484 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1485 | 0.35 | 3 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1486 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1487 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1488 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1489 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1490 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1491 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1492 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1493 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1494 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1495 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1496 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1497 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1498 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1499 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1500 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1501 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1502 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1503 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1504 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1505 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1506 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1507 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1508 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1509 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1510 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1511 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1512 | 0.35 | 3 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1513 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1514 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1515 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1516 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1517 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1518 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1519 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1520 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1521 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1522 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1523 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1524 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1525 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1526 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1527 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1528 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1529 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1530 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1531 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1532 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1533 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1534 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1535 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1536 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1537 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1538 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1539 | 0.35 | 3 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1540 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1541 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1542 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1543 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1544 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1545 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1546 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1547 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1548 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1549 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1550 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1551 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1552 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1553 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1554 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1555 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1556 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1557 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1558 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1559 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1560 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1561 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1562 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1563 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1564 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1565 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1566 | 0.35 | 3 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1567 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1568 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1569 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1570 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1571 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1572 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1573 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1574 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1575 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1576 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1577 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1578 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1579 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1580 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1581 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1582 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1583 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1584 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1585 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1586 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1587 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1588 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1589 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1590 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1591 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1592 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1593 | 0.35 | 3 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1594 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1595 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1596 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1597 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1598 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1599 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1600 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1601 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1602 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1603 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1604 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1605 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1606 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1607 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1608 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1609 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1610 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1611 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1612 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1613 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1614 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1615 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1616 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1617 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1618 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1619 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1620 | 0.35 | 3 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1621 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1622 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1623 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1624 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1625 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1626 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1627 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1628 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1629 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1630 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1631 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1632 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1633 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1634 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1635 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1636 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1637 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1638 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1639 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1640 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1641 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1642 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1643 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1644 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1645 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1646 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1647 | 0.35 | 3 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1648 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1649 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1650 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1651 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1652 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1653 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1654 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1655 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1656 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1657 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1658 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1659 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1660 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1661 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1662 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1663 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1664 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1665 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1666 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1667 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1668 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1669 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1670 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1671 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1672 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1673 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1674 | 0.35 | 3 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1675 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1676 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1677 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1678 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1679 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1680 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1681 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1682 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1683 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1684 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1685 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1686 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1687 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1688 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1689 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1690 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1691 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1692 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1693 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1694 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1695 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1696 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1697 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1698 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1699 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1700 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1701 | 0.35 | 3 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1702 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1703 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1704 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1705 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1706 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1707 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1708 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1709 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1710 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1711 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1712 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1713 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1714 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1715 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1716 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1717 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1718 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1719 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1720 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1721 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1722 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1723 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1724 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1725 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1726 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1727 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1728 | 0.35 | 5 | 120 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1729 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1730 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1731 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1732 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1733 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1734 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1735 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1736 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1737 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1738 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1739 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1740 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1741 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1742 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1743 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1744 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1745 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1746 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1747 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1748 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1749 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1750 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1751 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1752 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1753 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1754 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1755 | 0.35 | 5 | 120 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1756 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1757 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1758 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1759 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1760 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1761 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1762 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1763 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1764 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1765 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1766 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1767 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1768 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1769 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1770 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1771 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1772 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1773 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1774 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1775 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1776 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1777 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1778 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1779 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1780 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1781 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1782 | 0.35 | 5 | 120 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1783 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1784 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1785 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1786 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1787 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1788 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1789 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1790 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1791 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1792 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1793 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1794 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1795 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1796 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1797 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1798 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1799 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1800 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1801 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1802 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1803 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1804 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1805 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1806 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1807 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1808 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1809 | 0.35 | 5 | 180 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1810 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1811 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1812 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1813 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1814 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1815 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1816 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1817 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1818 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1819 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1820 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1821 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1822 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1823 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1824 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1825 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1826 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1827 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1828 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1829 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1830 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1831 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1832 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1833 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1834 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1835 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1836 | 0.35 | 5 | 180 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1837 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1838 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1839 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1840 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1841 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1842 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1843 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1844 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1845 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1846 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1847 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1848 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1849 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1850 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1851 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1852 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1853 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1854 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1855 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1856 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1857 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1858 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1859 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1860 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1861 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1862 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1863 | 0.35 | 5 | 180 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1864 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1865 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1866 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1867 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1868 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1869 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1870 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1871 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1872 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1873 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 748.4 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1874 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1875 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1876 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1877 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1878 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1879 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1880 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1881 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1882 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1883 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1884 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1885 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1886 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1887 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1888 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1889 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1890 | 0.35 | 5 | 300 | 0.1 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1891 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1892 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1893 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1894 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1895 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1896 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1897 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1898 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1899 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1900 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1901 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 772.7 |
| 1902 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1903 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1904 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1905 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1906 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1907 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1908 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1909 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1910 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1911 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1912 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1913 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1914 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1915 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1916 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1917 | 0.35 | 5 | 300 | 0.15 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1918 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 748.4 |
| 1919 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 772.7 |
| 1920 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 546 | 873.2 |
| 1921 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 748.4 |
| 1922 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 772.7 |
| 1923 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 788 | 873.2 |
| 1924 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 748.4 |
| 1925 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 772.7 |
| 1926 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.2 | 1360 | 873.2 |
| 1927 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 748.4 |
| 1928 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 772.7 |

Tabela 22- Combinações paramétricas dos parâmetros termofísicos da envoltória utilizadas nas simulações computacionais (continua)

| Nº Simulação | Alt. (m) | LAI (adm) | R. Est. (s/m) | e (m) | λ (W/m.K) | ρ (kg/m ³) | c (J/kg.K) |
|--------------|----------|-----------|---------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|
| 1929 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1930 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1931 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1932 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1933 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1934 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1935 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1936 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1937 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1938 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1939 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1940 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1941 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1942 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1943 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1944 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |
| 1929 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 546 | 873.2 |
| 1930 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 748.4 |
| 1931 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 772.7 |
| 1932 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 788 | 873.2 |
| 1933 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 748.4 |
| 1934 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 772.7 |
| 1935 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 0.35 | 1360 | 873.2 |
| 1936 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 748.4 |
| 1937 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 772.7 |
| 1938 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 546 | 873.2 |
| 1939 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 748.4 |
| 1940 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 772.7 |
| 1941 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 788 | 873.2 |
| 1942 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 748.4 |
| 1943 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 772.7 |
| 1944 | 0.35 | 5 | 300 | 0.2 | 1 | 1360 | 873.2 |