

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

RENATA VIEIRA KOCK

**COMPARAÇÃO, SOB O ENFOQUE ECONÔMICO, ENTRE O USO DE
COBERTURA VEGETADA E CONVENCIONAL PARA UM EDIFÍCIO
EDUCACIONAL PÚBLICO EM FLORIANÓPOLIS**

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2019.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

RENATA VIEIRA KOCK

**COMPARAÇÃO, SOB O ENFOQUE ECONÔMICO, ENTRE O USO DE
COBERTURA VEGETADA E CONVENCIONAL PARA UM EDIFÍCIO
EDUCACIONAL PÚBLICO EM FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Sergio Parizotto Filho, Mestre.

FLORIANÓPOLIS, JUNHO DE 2019.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Kock, Renata

Comparação, sob o enfoque econômico, entre o uso de cobertura vegetada e convencional para um edifício educacional público em Florianópolis / Renata Kock ; orientação de Sergio Parizotto Filho. - Florianópolis, SC, 2019.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.

Inclui Referências.

1. Cobertura Vegetada. 2. Desempenho Térmico. 3. Comparativo Econômico. I. Parizotto Filho, Sergio . II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Construção Civil. III. Título.

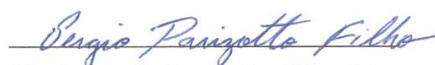
**COMPARAÇÃO, SOB O ENFOQUE ECONÔMICO, ENTRE O USO DE
COBERTURA VEGETADA E CONVENCIONAL PARA UM EDIFÍCIO
EDUCACIONAL PÚBLICO EM FLORIANÓPOLIS**

RENATA VIEIRA KOCK

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 05 de julho de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Sergio Parizotto Filho, Me

Orientador



Prof. Ana Lúcia Papst de Abreu, Dra.



Prof. Beatriz Francalacci da Silva, Dra.



Prof. João Alberto da Costa Ganzo Fernandez, Dr

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo apoio, paciência e compreensão em momentos difíceis;

Aos meus amigos, por entenderem minha ausência;

Ao meu orientador, Sergio Parizotto, por compartilhar seu conhecimento e pela dedicação de seu tempo para a finalização deste estudo.

A professora, Ana Lígia Papst Abreu, pelo apoio, carinho e aprendizado;

Ao professor Rogério Versage, pela disponibilidade e instrução compartilhada;

Aos professores Beatriz Francalacci e João Alberto Ganzo pelas avaliações, observações e incentivos.

Aos amigos e colegas que fiz durante o curso, com quem compartilhei bons (e não tão bons) momentos, conhecimento e amizade;

Ao IFSC e seu corpo docente, por proporcionar um estudo de qualidade a tantos estudantes.

“É hora de aprendermos com a natureza
e não somente sobre a natureza. “

Gunter Pauli

RESUMO

O desempenho de uma edificação é associado diretamente aos materiais que a compõe. A cobertura é a parte da envoltória que está mais exposta à radiação solar direta e com isso tem forte influência sobre a transferência de calor aos ambientes internos. Diversos estudos contemplam diferentes tecnologias para a redução do consumo energético em edificações, em alguns deles, a cobertura vegetada é sugerida para o auxílio desta redução. Neste trabalho, foi feita uma comparação, sob o enfoque econômico, do uso de coberturas vegetadas quando comparadas a uma cobertura padrão de fibrocimento para o ultimo pavimento de um prédio de uso educacional público na cidade de Florianópolis – SC. Foram analisados 10 modelos, sendo uma cobertura padrão e nove vegetadas, através da simulação computacional pelo *software EnergyPlus*. Após esta análise obteve-se juntamente com o consumo energético o custo de energia utilizada para resfriamento. Os custos de implantação e manutenção referentes a cobertura vegetada e a de fibrocimento foram levantados e assim realizou-se a comparação econômica através dos métodos *payback*, valor presente líquido - VPL e taxa interna de retorno - TIR. Com o resultado das simulações numéricas constatou-se que a cobertura vegetada tem consumo energético em torno de 6,8% mais baixo para manter o ambiente em conforto térmico do que a cobertura de fibrocimento. Porém, sob o enfoque econômico, para este tipo de utilização e carga térmica interna, a cobertura vegetada não tem seu valor investido recuperado em decorrência da economia com energia elétrica para resfriamento.

Palavras-chave: Cobertura Vegetada. Desempenho Térmico. Comparativo Econômico.

ABSTRACT

The performance of a building is directly associated by the materials that it is composed. The roof is the part of the envelope which is more exposed to direct solar radiation and thus has a strong influence on the heat transfer to internal environments. Several studies contemplate different technologies for the reduction of energy consumption in buildings, in some of them, the green roof is suggested as an aid to this reduction. In this study, a comparison was made, by the economic focus, of the use of vegetative roof and fiber-cement to the last floor of a building of public educational use in the city of Florianópolis - SC. There were analysed 10 models, one of them was a standard roof and 9 were green roofs, this analysis was made by a computer simulation on Energyplus software. In the end of this analysis, the consumption of energy used for cooling was obtained as well as the cost of the same. The implementation and maintenance costs for vegetated and fiber cement coverage were surveyed and the economic comparison was made through methods such as payback, NPV and IRR. Through the numerical simulations results, it was verified that the green roof has energy consumption around 6.8% lower to maintain the intern environment in thermal comfort than the fiber cement cover. However, under the economic approach, for this type of utilization and internal gains whit thermal load, the vegetated roof does not have the investment value recovered by the economy of the electric energy for cooling.

Keywords: Green Roof. Thermal Performance. Economic comparation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Estrutura Cobertura Vegetada..... | 15 |
| Figura 2 - Cobertura Vegetada..... | 17 |
| Figura 3 - Cobertura Vegetada Inclinada..... | 17 |
| Figura 4 - Balanço Térmico Cobertura Vegetada..... | 21 |
| Figura 5 - Índice de Área Foliar..... | 22 |
| Figura 6 - VPL em Função da Taxa de Desconto..... | 28 |
| Figura 7- Layout Sala..... | 30 |
| Figura 8- Planta baixa do modelo..... | 31 |
| Figura 9 - Modelo..... | 31 |
| Figura 10 - Cobertura Fibrocimento..... | 33 |
| Figura 11 - Cobertura Vegetada..... | 34 |
| Figura 12 - Esquema Nomeação Simulações..... | 36 |
| Figura 13- Esquema Fluxo de Caixa..... | 39 |
| Figura 14 - Temperatura das Zonas Térmicas do Modelo V510..... | 44 |
| Figura 15 - Gráfico de Redução de Carga Térmica de Resfriamento entre modelo P e V510..... | 45 |
| Figura 16 – Temperatura Zona 3 e 6 nos Modelos P e V510..... | 46 |
| Figura 17 - Geomembrana Drenante..... | 55 |
| Figura 18 - Situação A..... | 60 |
| Figura 19 - Situação B..... | 61 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Revisão Literatura Redução Temperatura | 23 |
| Quadro 2 - Revisão Literatura Economia de Energia | 23 |
| Quadro 3- Características <i>RoofVegetation</i> | 35 |
| Quadro 4- Combinações | 37 |
| Quadro 5 - Comparação de Consumo de Energia para Resfriamento | 43 |
| Quadro 6 - Carga Térmica de Resfriamento | 45 |
| Quadro 7 – Consumo e Custo Anual de Energia Elétrica com Resfriamento | 48 |
| Quadro 8 – Custo com Madeiramento | 49 |
| Quadro 9 - Custo Telhamento Fibrocimento | 50 |
| Quadro 10 - Custo Cumeeira..... | 51 |
| Quadro 11 - Custo Manutenção Telhado Fibrocimento..... | 52 |
| Quadro 12 - Pesquisa em Empresas de Cobertura Vegetada..... | 53 |
| Quadro 13 - Custo com Impemeabilização | 54 |
| Quadro 14 - Custo Camada Filtrante | 55 |
| Quadro 15 - Custo Camada Substrato Vegetal | 56 |
| Quadro 16 - Custo Camada Vegetação | 56 |
| Quadro 17 - Custo Manutenção da Cobertura Vegetada..... | 57 |
| Quadro 18 - Valores Fluxo de Caixa | 57 |
| Quadro 19 - Fluxo de Caixa Descontado | 58 |
| Quadro 20 – Custos das Coberturas em CUB/m ² | 59 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN – Balanço Energético Nacional

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.

DACC – Departamento Acadêmico de Construção Civil

EBC – Empresa Brasil de Comunicação

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

RTQC – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | Justificativa | 12 |
| 1.2 | Objetivo Geral | 13 |
| 1.3 | Objetivos Específicos | 13 |
| 1.4 | Estrutura deste Trabalho de Conclusão de Curso | 13 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 2.1 | Cobertura Vegetada | 15 |
| 2.1.1 | Benefícios da Cobertura Vegetada..... | 18 |
| 2.2 | Desempenho Térmico Coberturas Vegetadas | 20 |
| 2.2.1 | Uso de Simulação Computacional..... | 25 |
| 2.3 | Comparativo Econômico | 26 |
| 3 | METODOLOGIA | 29 |
| 3.1 | Modelo | 29 |
| 3.2 | Coberturas | 32 |
| 3.3 | Simulações Paramétricas | 35 |
| 3.3.1 | Análise dos Resultados das Simulações..... | 37 |
| 3.4 | Análise Econômica | 37 |
| 4 | RESULTADOS | 42 |
| 4.1 | Análise dos Resultados das Simulações | 42 |
| 4.2 | Análise Econômica | 47 |
| 4.2.1 | Custos | 47 |
| 4.2.1.1 | <i>Energia Elétrica de Resfriamento</i> | 47 |
| 4.2.1.2 | <i>Cobertura Fibrocimento</i> | 48 |
| 4.2.1.3 | <i>Cobertura Vegetada</i> | 52 |
| 4.2.2 | Comparativo Econômico | 57 |
| 4.3 | Casos Complementares | 59 |
| 5 | CONCLUSÃO | 63 |
| 5.1 | Sugestão para Trabalhos Futuros | 65 |
| 5.2 | Limitações do Trabalho | 65 |
| | REFERÊNCIAS | 67 |

1 INTRODUÇÃO

Segundo as Organizações das Nações Unidas (ONU, 2017), aproximadamente 7,6 bilhões de pessoas no mundo estão consumindo recursos naturais, muitos de forma desenfreada. Com a energia elétrica não é diferente, mesmo com o uso de energias renováveis nossa matriz energética mundial é predominantemente não renovável. Mesmo o Brasil tendo uma matriz energética predominante hidrelétrica, para a garantia de suprimento de energia, as Termelétricas são acionadas nos períodos de seca (EBC, 2018). No ano de 2017, as edificações foram responsáveis por cerca de 47,74% do consumo de energia elétrica no Brasil (BEN, 2018).

A forma mais barata de economizar energia em edificações é a adoção de sistemas energeticamente eficientes. Além disso, a implantação de tecnologias sustentáveis nas edificações é a “alternativa mais barata e mais efetiva para redução das emissões de CO₂” (AGOPYAN e JOHN, 2011 p. 42). O sistema de cobertura vegetada, através da captura de gás carbônico, auxilia na renovação do ar, o que atualmente é uma necessidade mundial. Segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS (2018), cerca de 90% da população mundial respira ar poluído, e em 2016 ocorreram aproximadamente 4,2 milhões de mortes causadas pela poluição do ar ambiente.

O crescimento da maioria das cidades aconteceu de forma desordenada, sem um planejamento de ocupação do solo, e em muitos casos, com a falta de um Plano Diretor adequado. Isto resulta em sistemas de drenagem subdimensionados e reduzidas áreas de percolação, fatores que tem forte influência na aparição de alagamentos e enchentes. Esta urbanização acelerada gerou extensas áreas cobertas por concreto, e a redução da evaporação ocasionada pela substituição da vegetação original pelo asfalto e concreto auxiliam na formação de ilhas de calor. (AMORIM, 2005). Para Razzaghmanesh et al. (2015) a cobertura vegetada é um sistema importante para o futuro da urbanização, pois é capaz de reduzir a temperatura em áreas urbanas e tem potencial para ser uma das estratégias mais efetivas para reduzir as ilhas de calor. Quanto aos problemas provenientes das águas pluviais, Tassi et al. (2013) mostram que a cobertura vegetada é eficiente no controle do escoamento superficial destas águas.

Além dos benefícios já mencionados a cobertura vegetada também é utilizada para conforto térmico, o que tende a ter um uso mais eficiente em relação ao consumo de energia. Conforme Lamberts et al. (2014, p.5) “um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia”.

As Organizações das Nações Unidas (2018), em um de seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável pretende, até 2030, dobrar a taxa global de melhoria de eficiência energética. Segundo a ELETROBRÁS (2005), cerca de 48% do consumo de energia elétrica nas instituições públicas está relacionado ao uso de sistema de condicionamento de ar. Ferraz (2012) nos diz que a cobertura vegetada pode auxiliar no controle térmico da edificação e assim reduzir o consumo energético referente ao uso de ar condicionado.

O tripé da sustentabilidade é baseado na parte ambiental, social e econômica. A integração da sustentabilidade ambiental ao contexto econômico muitas vezes é vista como um empecilho ao crescimento. A preocupação ambiental necessita de alicerces sólidos para orientar de forma autônoma decisões de políticas públicas, econômicas e sociais (IPEA, 2010)

Conforme Liz (2016), as coberturas vegetadas são uma contribuição efetiva para melhorar o desempenho térmico da cobertura para o clima de Florianópolis. Seu estudo propõe auxílio a elaboração de normas e regulamentos municipais que tem como objetivo incluir coberturas vegetadas em iniciativas de sustentabilidade nas edificações. Logo, se faz necessário um estudo de viabilidade econômico financeira para incrementar os aspectos ambientais.

1.1 Justificativa

Desde 2014 todos os projetos e construções de edificação pública federal devem, obrigatoriamente, obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE nível “A”, conforme Instrução Normativa MPOG/SLTI nº 02, de 04 de junho de 2014. O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C, sugere como uma das

opções obrigatórias quanto a absorvência da superfície a escolha de teto jardim para obter a etiqueta nível “A”. Em Recife, a Lei 18.112 de 2015 já torna obrigatória a instalação de “telhados verdes” para melhoria da qualidade ambiental das edificações.

Tendo por base as vantagens sócio ambientais que uma cobertura vegetada pode proporcionar quando comparada a um telhado convencional, o estudo econômico para a implantação de coberturas vegetadas pode-se constituir em um incentivo adicional.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é fazer um comparativo, sob enfoque econômico, da implantação de uma cobertura vegetada e uma convencional para uma edificação de uso educacional público em Florianópolis.

1.3 Objetivos Específicos

Objetivos específicos a serem atingidos ao longo do trabalho:

- a) Avaliar o consumo energético do ar condicionado utilizado para resfriamento no edifício com e sem cobertura vegetada;
- b) Avaliar a carga térmica necessária para resfriamento entre a cobertura vegetada e a cobertura padrão em cada zona térmica do pavimento;
- c) Determinar se existe a viabilidade econômica de uma cobertura vegetada em edifício de uso educacional para o clima de Florianópolis;
- d) Propor situações que possibilitem a visualização de diferentes cenários de análise da viabilidade econômica de coberturas vegetadas.

1.4 Estrutura deste Trabalho de Conclusão de Curso

Este trabalho está dividido em 5 capítulos. Introdução, revisão de literatura, metodologia, resultados e, ao final, conclusões do estudo. Na introdução foi apresentada a justificativa e contextualização deste trabalho, que serviram para a elaboração dos objetivos propostos.

No segundo capítulo será apresentado uma revisão de literatura, onde os principais conceitos que envolvem a abrangência deste estudo são demonstrados a partir de outros trabalhos encontradas na literatura científica. Primeiramente são apresentados os elementos que compõe coberturas vegetadas e seus benefícios, dentre eles especificamente seu desempenho térmico. O capítulo também introduz informações sobre simulação computacional e conceitos para base do comparativo econômico.

A metodologia desenvolvida para alcançar os objetivos propostos é apresentada no capítulo 3. Nela são explicados os passos desenvolvidos, como a criação de um modelo, os dados sobre as coberturas comparadas, aspectos sobre as simulações executadas e como serão feitas as análises dos resultados.

O capítulo 4 compreende a análise dos dados das simulações, bem como a apresentação dos custos das coberturas e do consumo com energia elétrica para resfriamento e o comparativo econômico entre os dados.

Ao final deste trabalho, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões inerentes ao estudo, assim como sugestões para trabalhos futuros e limitações da pesquisa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

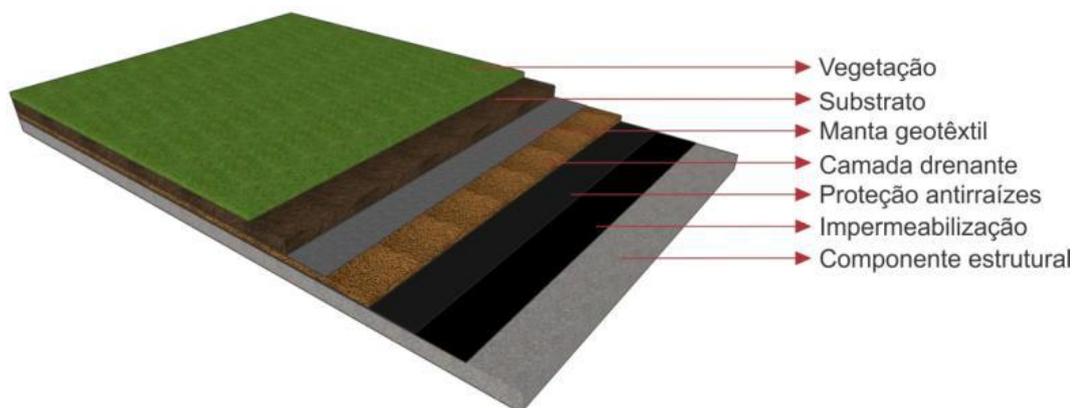
Este capítulo trata da revisão de literatura necessária para a base do estudo, onde será explicado o sistema de cobertura vegetada, bem como todos seus benefícios, além de enfatizar as vantagens no que tange a parte térmica. Também serão introduzidas informações sobre a simulação computacional, etapa fundamental do estudo para se atingir os objetivos propostos. Em seu último item serão abordados os conceitos fundamentais para o comparativo econômico deste estudo.

O termo telhado verde é utilizado em diversos artigos. Segundo NBR 15.575-5 (ABNT, 2013), telhado é um elemento constituído de telhas e seus subsistemas. Como o sistema ajardinado não levará telhas, será utilizado o termo cobertura vegetada durante o decorrer deste trabalho.

2.1 Cobertura Vegetada

Coberturas vegetadas são, essencialmente, encobertas (parcial ou completamente) por algum tipo de vegetação fixada em um substrato que provê suporte a mesma. Podem, e, frequentemente, são compostas de camadas adicionais, sendo elas: drenagem, impermeabilização e proteção anti-raíz (DIAS, 2016). Para Saadatian et al. (2013), sua caracterização típica consiste em uma membrana a prova d'água, camada de material drenante, camada filtrante, faixa de solo e vegetação. A Figura 1 ilustra a composição de uma cobertura vegetada.

Figura 1- Estrutura Cobertura Vegetada



Fonte: LIZ, 2016.

A camada de impermeabilização tem como função proteger o elemento estrutural, neste caso a laje, do contato direto com a água. A parte drenante serve para dar vazão ao excesso de água no substrato e evitar alagamento. Acima desta, a membrana filtrante tem a finalidade de evitar que a água carregue partículas de solo e prejudique a funcionalidade da camada drenante. Usualmente ela é feita com uma manta geotêxtil (SANTOS et al., 2017).

O substrato é a camada de solo que dará os nutrientes necessários para o desenvolvimento da vegetação. Este deve ter seu peso conforme a capacidade estrutural da cobertura e proporcionar ancoragem das raízes para o crescimento da planta, bem como boa drenagem para prover água, porém sem alagar as raízes (PARIZOTTO, 2010). A espessura do substrato é a característica principal para distinguir os tipos existentes de coberturas vegetadas em intensivas e extensivas. Para as extensivas, conforme Sailor (2008), a espessura vai até 20 cm, assim como para Oberndorfer et al. (2007), sendo que as intensivas tem mais de 20cm. Para a camada de vegetação de uma cobertura vegetada extensiva as espécies mais indicadas são vegetações nativas, pois já estão habituadas ao clima local e assim devem suportar a exposição aos raios solares, ventos predominantes e condições de geadas (quando for o caso) (PARIZOTTO, 2010).

Neste trabalho serão estudadas as coberturas do tipo extensiva, que possuem uma camada de solo mínima o suficiente para manter a vitalidade das plantas, o que as faz mais baratas, leves e de fácil manutenção quando comparadas com as intensivas. Podem ser utilizadas tanto em meio rural quanto em meio urbano, assim como ser implementada tanto em edificações novas quanto em edificações preexistentes. Comumente são instaladas em posição horizontal, tal qual representada na Figura 2, mas podem funcionar com inclinações de até 35°, sendo que quando superiores a 20°, requerem um sistema para evitar o escorregamento de suas camadas constituintes (KWOK;GRONDZIK, 2013). A Figura 3 mostra uma cobertura vegetal inclinada em um hotel fazenda em Bom Retiro – SC, com aproximadamente 600m².

Figura 2 - Cobertura Vegetada



Fonte: <https://sustentarqui.com.br/grande-telhado-verde-casa-plana-sp>

Figura 3 - Cobertura Vegetada Inclinada



Fonte: LOHMANN, 2008

Geralmente este tipo de cobertura não é acessível para utilização como área de estar, somente para a equipe de manutenção (KWOK;GRONDZIK, 2013). A vegetação extensiva tem que ter uma boa capacidade de regeneração e poder sobreviver sem cuidados, sendo este o fator determinante pela preferência na escolha das plantas nativas (MINKE, 2004). Para Oberndorfer et al. (2007), a manutenção de coberturas ajardinadas extensivas é pouca ou não necessária, devendo ser feita com intuito de cortar algum eventual arbusto quando necessário, da mesma forma que para Ferraz (2012), a manutenção constante não é obrigatória e somente é importante em período de seca.

2.1.1 Benefícios da Cobertura Vegetada

Tem-se dados históricos que este tipo de cobertura era utilizada desde a antiga Mesopotâmia (RANGEL et al., 2015), em Paris no ano de 1903 datam-se construções com terraços jardim, na Alemanha e Estados Unidos em 1914 (MARTINS, 2010). No Brasil, o uso desta técnica teve início em 1930, no prédio do Ministério da Saúde e Educação no Rio de Janeiro pelo arquiteto Lucio Costa (MACHADO et al., 2017). Na cidade de Sydney, em 2014, foi criado um plano de implementação de políticas sobre paredes e coberturas vegetadas com objetivo de aumentar o número e a qualidade das coberturas e paredes vegetadas. Tal plano é inspirado em programas como o de Copenhagen, onde é proposto que a cidade seja neutra em carbono até 2050, apostando nas coberturas vegetadas para alcançar esta meta, baseando-se também na Alemanha, primeiro país a desenvolver normas nacionais sobre coberturas vegetadas e que, assim como a Áustria, possui mais de 15% das coberturas de suas edificações cobertas por vegetação (SYDNEY, 2014).

No documento sobre o plano a ser implantado em Sydney são ressaltados os seguintes benefícios de uma cobertura vegetada: a qualidade do ar é melhorada tanto interna quanto externamente ao edifício, ressalta que a beleza é um fator a ser considerado, que este tipo de cobertura ajuda a preservar a biodiversidade, pois proporciona espaço de vivencia para insetos, reptéis e aves. Ajuda os humanos na saúde, pois estudos mostram que há inúmeros benefícios para a saúde mental e física estar em contato com plantas. As coberturas vegetadas podem criar novos espaços para serem habitados, elas aumentam o tempo de vida da parte estrutural de uma

cobertura, diminuem o escoamento superficial de águas pluviais e ajudam a diminuir o efeito das ilhas de calor. Além de todas essas qualidades, as coberturas vegetadas auxiliam na redução dos ruídos vindos do ambiente externo, aumentam a eficiência de painéis solares e melhoram o desempenho térmico da edificação, o que faz diminuir o consumo de energia. Este programa afirma que o sistema de coberturas vegetadas é uma das poucas tecnologias que providencia benefícios sociais, econômicos e ambientais (SYDNEY, 2014).

Na cidade de São Paulo foi realizada uma pesquisa sobre ilhas de calor onde a temperatura do ar era medida através de termômetros digitais em diversos pontos de coleta, podendo-se comprovar a formação de ilhas de calor (AMORIM, 2005). Em Adelaide, Austrália, foi desenvolvido também um estudo sobre o potencial de ilhas de calor, onde foi feita uma investigação experimental em microescala e também a parte macro, realizada por simulação numérica, com o intuito de mitigar o efeito de ilhas de calor. A pesquisa conclui que materiais como asfalto, telhados metálicos e *pavers* contribuem para o potencial de ilhas de calor, assim como a crescente urbanização e a falta de vegetação natural. Através do estudo macro, onde foi proposto que 30% das coberturas fossem trocadas por coberturas vegetadas, confirmou-se que a temperatura do ar iria diminuir e constatou-se que este tipo de cobertura tem potencial para auxiliar na diminuição de ilhas de calor (RAZZAGHMANESH et al., 2015).

Em Florianópolis, entre 2016 e 2017, foi realizado um estudo cujo objetivo era analisar o comportamento do escoamento pluvial de diferentes tipos de coberturas vegetadas e de uma convencional, realizado através da construção de protótipos para a simulação das coberturas verdes e a de fibrocimento. A pesquisa confirmou a hipótese de que as coberturas vegetadas teriam uma capacidade de retenção de água pluvial muito maior do que a de fibrocimento, variando entre 65 a 84% e a fibrocimento apenas 8%, concluindo que a adoção das coberturas vegetadas em grande escala é uma opção viável para mitigar os impasses com a drenagem urbana, podendo também contribuir para a diminuição da poluição difusa e colaborar para a melhoria da qualidade dos cursos d'água a que a rede pluvial conduz o escoamento (KLEIN, 2017). Outra vantagem das coberturas vegetadas é a capacidade de absorver gás carbônico através da fotossíntese, o que reduz a poluição atmosférica. Em um estudo de dois casos feito no Rio Grande do Sul sobre comparação de emissão de dióxido

de carbono e do conteúdo energético de cobertura vegetada, telha cerâmica e fibrocimento em sua fase pré-operacional, ou seja, antes de ser utilizada, foram analisados seus componentes e processos de fabricação. Concluiu-se que as coberturas vegetadas demonstram melhores desempenhos quanto aos índices de emissão de dióxido de carbono e conteúdo energético, apresentando-se menos poluentes inclusive em sua fase pré-operacional (PEREIRA, 2014).

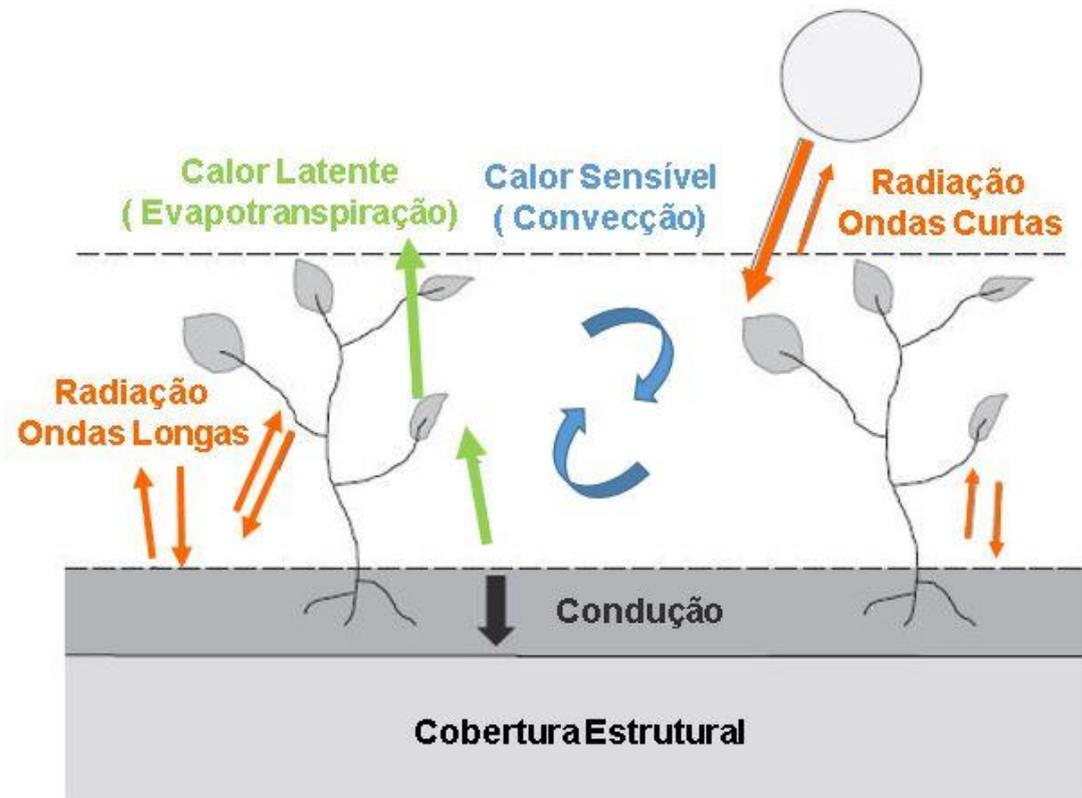
Há também a vantagem de conforto térmico, onde o ambiente é climatizado de uma maneira natural e tem sua temperatura interna regulada. No verão evita o aquecimento, enquanto que no inverno neutraliza o frio através do calor acumulado durante o dia (MINGUET, 2016). A parte referente ao desempenho térmico será abordada com mais detalhes no item seguinte por se tratar do cerne desta pesquisa.

2.2 Desempenho Térmico Coberturas Vegetadas

Nossa principal fonte de calor é a radiação solar que é também um dos maiores contribuintes no que diz respeito ao ganho térmico em edifícios. Uma maneira de interceptá-la é por intermédio da vegetação através da fotossíntese (LAMBERTS et al., 2014).

Coberturas vegetadas não possuem alto índice de refletância, logo, o fluxo térmico não tem sua maior parte reduzida através da reflexão da radiação, porém está relacionado com o sombreamento e evapotranspiração (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011). A Figura 4 ilustra o balanço energético que ocorre em uma cobertura vegetada. A radiação solar incidente é balanceada pelo fluxo de calor sensível, através da convecção, pelo fluxo de calor latente, por meio da evaporação do solo e transpiração da planta, pela condução de calor através do solo e parte é refletida (SAILOR, 2018).

Figura 4 - Balanço Térmico Cobertura Vegetada



Fonte: Adaptado de REFAHI; TALKHABI (2015)

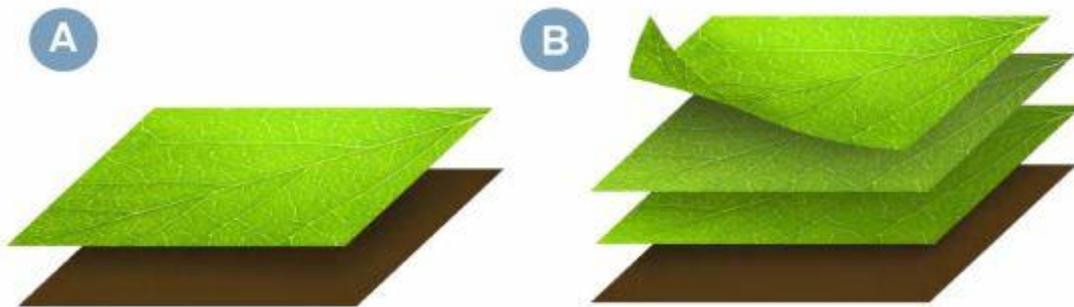
A camada de vegetação contém ar em seu interior e, além dele, compõe-se da folhagem. Esta camada é encarregada de dissipar grande parte da irradiação solar incidente, seja através do sombreamento fornecido às camadas subjacentes, ou pela parte da energia refletida e absorvida pelas plantas. Neste processo a radiação térmica também é consumida para manutenção dos processos biológicos das plantas, tais como desenvolvimento, fotossíntese, respiração e evapotranspiração (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011).

A espessura do substrato e a presença da vegetação, em uma pesquisa feita por LIZ (2016), propiciaram um maior atraso térmico e amortecimento da temperatura na superfície de contato, em relação a temperatura do ar externo. O atraso térmico e a capacidade de amortecimento são parâmetros ligados à inércia térmica, sendo esta a capacidade de uma edificação de liberar e armazenar calor (PAPST, 1999).

A condutividade térmica é característica dos materiais e faz parte dos fatores necessários para encontrar a transmitância térmica, que é a transmissão de calor em unidade de tempo por meio de um elemento ou área unitária, induzida pela diferença de temperatura do meio interno e externo conforme a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Um fator de interferência direta na eficiência térmica de uma cobertura vegetada é o índice de área foliar – IAF (COSTA;LIMA, 2017). O IAF quantifica a porcentagem de substância foliar em um dossel. Ele é a relação de área foliar por unidade de área de solo, sendo adimensional, pois representa uma proporção de áreas. A Figura 5 exemplifica um IAF 1 (A) e 3 (B), onde a proporção de área foliar para a área de solo é de 1:1 e 3:1 respectivamente (DECAGON DEVICES, 2014).

Figura 5 - Índice de Área Foliar



Fonte: Adaptado de Decagon Devices (2014).

Pesquisas experimentais e de simulação numérica computacional vem sendo desenvolvidas com o intuito de entender os procedimentos de transferência de calor que acontecem em uma cobertura vegetada. Vecchia (2005) em um estudo comparativo entre o comportamento térmico de uma cobertura vegetada leve com cobertura de aço galvanizado, telha de fibrocimento, laje pré-moldada e telha cerâmica obteve resultados que demonstraram que a amplitude térmica interna registrada da cobertura vegetada foi a menor e correspondeu a 9,2°C, enquanto que a de aço foi de 48,4°C, concluindo que o sistema vegetado apresenta o maior obstáculo para trocar calor com o ambiente exterior. Em outro estudo experimental comparativo da cobertura vegetada com um telhado de fibrocimento, com vedação

vertical Light Steel Frame, constatou-se que a cobertura vegetada demonstrou melhor desempenho térmico, mantendo-se com menor amplitude térmica interna e assim diminuído o fluxo de calor vindo da cobertura (COSTA et al., 2017).

Através de uma pesquisa de revisão sistemática de literatura, Montanari e Labaki (2017) buscaram encontrar o comportamento térmico no interior de ambientes construídos sob a influência de envoltórias vegetadas e verificar seus possíveis desempenhos térmicos conforme as características atribuídas. O Quadro 1 representa os valores encontrados referentes à parte de redução das temperaturas nas coberturas e o Quadro 2 refere-se a economia de energia. Porém, ressalta-se que estes valores não devem ser utilizados como parâmetro para construções brasileiras e que novos estudos com telhados cerâmicos ou de fibrocimento devem ser feitos para os climas brasileiros.

Quadro 1 - Revisão Literatura Redução Temperatura

| Envoltória | Redução de Temperatura | Referência |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Coberturas Verdes Extensivas | ≤ 2,1 °C | (TAM; WANG; LE, 2016) |
| | ≤ 4,4 °C | (KUMAR; MAHALLE, 2016) |
| | 0,5 a 0,95 °C | (YANG et al., 2015) |
| | ≤ 3,5 °C | (GAGLIANO et al., 2015) |

Fonte: adaptado de Montanari;Labaki (2017)

Quadro 2 - Revisão Literatura Economia de Energia

| Economia de Energia | Principais Observações - Coberturas Verdes |
|----------------------------|---|
| Observações Positivas | Até 15,2% de economia anual de energia com cobertura verde (YANG et al., 2015); |
| | 15,1% de economia anual de energia com cobertura verde (FOUSTALIERAKI et al., 2017) |
| | Coberturas verdes e <i>cool roofs</i> promovem maior economia e benefícios ambientais do que coberturas com grande isolamento térmico (GAGLIANO et al., 2015) |
| Observações Negativas | O balanço energético das coberturas verdes é complexo e nem sempre resulta em economia de energia (MOODY; SAILOR, 2013) |

Fonte: adaptado de Montanari;Labaki (2017)

Para a cidade de Florianópolis, no qual se dará este estudo, o clima é temperado (IBGE, 2002). O município está localizado na zona bioclimática 3, na latitude 27,58 S e longitude 48,57 W. Para um dia típico de verão a cidade apresenta temperatura máxima diária de 32,7°C e amplitude de 6,6°C, enquanto que para o dia típico de inverno, a temperatura mínima diária é 6°C com amplitude de 7,4°C conforme NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Com a finalidade de identificar, através de experimentos, os elementos que fazem parte de uma cobertura vegetada que possuem capacidade de interferir no processo de transferência de calor pela cobertura, realizaram-se ensaios em Florianópolis – SC. O estudo foi executado através de uma câmara isolada termicamente com temperatura interna constante mantida artificialmente e com a cobertura vegetada variando em teor de umidade, espessura do substrato, tipo de camada vegetal e isolamento térmico. Como resultado verificou-se que as maiores reduções de ganho de calor aconteceram com a variação da espessura do substrato e da camada vegetal, sendo que a presença de vegetação gerou um atraso térmico de 5,95 horas e a maior espessura de substrato 4,77 horas e o amortecimento térmico foi de 42 e 43%, respectivamente (LIZ, 2016).

Com o objetivo de avaliar a influência de coberturas vegetadas quanto a temperatura e fluxo de calor, de comparar o desempenho de uma cobertura vegetada com uma cobertura cerâmica e uma metálica e de verificar a influência térmica do conteúdo volumétrico de água no substrato, fez-se um estudo experimental na casa eficiente em Florianópolis – SC através de medições. Concluiu-se que, mesmo com altos níveis de umidade presentes nesta cidade, o sistema de cobertura vegetada funcionou bem, e que provavelmente os fatores que compensam os baixos níveis de evapotranspiração podem ser o sombreamento, o isolamento e a massa térmica, fatores estes que contribuem para a redução do ganho de calor durante o verão. De acordo com esta pesquisa pode-se constatar que os fluxos de calor durante o verão, através da cobertura vegetada, tiveram seus ganhos reduzidos em 92% quando comparados a telha cerâmica e a 97% à metálica, porém se faz necessário mencionar que os ambientes estão em posição solar e tem volumetria diferentes (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011).

Com o intuito de avaliar exatamente as mesmas condições de envoltória, bem como de posição solar e carga térmica, e assim permitir uma comparação mais fidedigna se faz o uso de simulação computacional.

2.2.1 Uso de Simulação Computacional

Através do uso de simulação computacional, diferentes níveis de eficiência energética e custos de construção podem ser analisados, e assim, servir de apoio à tomada de decisão (MENDES et al., 2005). O programa *EnergyPlus* é indicado pelo RTQC (2010) para este tipo de simulação. Este *software* foi desenvolvido e é disponibilizado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Trata-se de um modelo de simulação de energia que é capaz de modelar o consumo de energia por hora de um edifício sujeito a usuários especificados, tipologia construtiva, cargas internas, horários e clima (Sailor, 2008). Na literatura encontra-se uma gama de estudos sobre análise de desempenho térmico em edificações com cobertura vegetada quando comparadas com outro tipo de cobertura.

Kokogiannakis et al. (2011), através do uso de simulação computacional pelo programa *EnergyPlus*, estudou o comportamento térmico de coberturas vegetadas em diversos climas Chineses. O estudo verificou 5328 configurações diferentes, variando parâmetros como localização, clima, diferentes isolantes térmicos, espessura do substrato vegetal e características da vegetação. Ao final da análise concluiu que as coberturas vegetadas podem oferecer significantes economias de energia para aquecimento e resfriamento do ambiente se forem aplicados em coberturas sem isolamento, mas para edifícios com alto isolamento térmico a economia de energia é limitada.

O sistema de ar condicionado HVAC dentro do programa *EnergyPlus* proporciona o valor de consumo de energia elétrica. Com o objetivo de verificar a economia desta, comparando uma cobertura com laje maciça à uma cobertura vegetada e uma reflexiva, em um edifício comercial de três pavimentos, foi realizada uma pesquisa em todas as oito zonas bioclimáticas do Brasil. Concluiu-se que ambas as coberturas (vegetada e reflexiva) reduzem o consumo de energia, e que tem sua maior redução no terceiro andar (pavimento em contato com a cobertura). Para a zona

bioclimática 3, na qual se localiza Florianópolis, a cobertura vegetada apresentou uma economia de 13,1% kWh/m² (COSTA;LIMA, 2017).

Em um trabalho mais específico no que tange a características da cobertura vegetada, analisou-se o desempenho térmico desta em três cidades distintas (Belém, Curitiba e Brasília). Primeiramente o estudo variou parâmetros através do modelo de coberturas vegetadas incorporado ao *EnergyPlus*. Ao todo foram 1125 simulações paramétricas as quais permitiram uma análise sensível do modelo estudado. Após encontrar as características para a configuração da cobertura, na classe *RoofVegetation* do modelo, foram simulados e analisados os desempenhos térmicos para as três cidades. As reduções de carga térmica entre a cobertura vegetada e a convencional (fibrocimento) foram de 83%, 89% e 95% para Belém, Curitiba e Brasília, respectivamente (DIAS, 2016).

O modelo de coberturas vegetadas incorporado ao *EnergyPlus* trata-se de um modelo matemático desenvolvido por Sailor (2008), baseado em fenômenos físicos do balanço de energia deste tipo de cobertura. Ele permite a especificação da camada de substrato e vegetação através da classe *RoofVegetation*. As informações necessárias referentes à vegetação são a altura das plantas, o índice de área foliar, refletância e emissividade das folhas e resistência estomatal mínima. Quanto as características referentes ao substrato tem-se a rugosidade, espessura da camada, condutividade térmica, massa específica, calor específico e absorvância. As camadas de impermeabilização, drenagem e filtrante são modeladas a parte, assim como os demais componentes da cobertura, incluindo a laje (SAILOR, 2008).

2.3 Comparativo Econômico

Em um estudo de viabilidade econômico financeira busca-se analisar a aplicabilidade de um projeto, através dos custos levantados, de uma taxa mínima de atratividade e modelos determinísticos como o *payback*, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno para avaliar oportunidades de investimento (BORDEAUX-RÊGO et al., 2010).

A taxa mínima de atratividade refere-se ao custo de financiamento ou custo de oportunidade, que, neste caso é a rentabilidade gerada por outro tipo de investimento, sendo ele próprio ou terceiros (FREZATTI, 2008). O fluxo de caixa

descontado depende da projeção dos fluxos, do valor residual estimado e da taxa de desconto determinada. Esta é uma etapa essencial do orçamento de capital, ele se subdivide em investimento inicial, que corresponde a saída de caixa substancial no instante zero, e fase de operação do projeto, onde os fluxos de caixa líquidos anuais são gerados. Suas entradas e saídas apresentam os fluxos de recursos, onde a seta para cima significa entrada de caixa (valor positivo) e a saída com seta pra baixo (valor negativo). Estas estão indicadas através de um período de tempo com intervalos contínuos por uma reta horizontal, onde o fluxo pode ser convencional, possuindo uma saída inicial seguida por entradas constantes, ou não, onde tem-se uma saída inicial e entradas e saídas alternadas não uniformemente (BORDEAUX-RÊGO et al., 2010).

No que tange a parte de custos, referente ao orçamento, utiliza-se o Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil – SINAPI. Neste sistema, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, pesquisa mensalmente preços de equipamentos, materiais de construção e salários das categorias correspondentes nas 27 capitais brasileiras. É de competência da Caixa Econômica Federal, a relação de serviços e especificações das composições de custo. Através do conhecimento dos quantitativos de materiais, assim como da mão de obra e do tempo necessário para a realização dos serviços, é possível, de acordo com os preços de insumos e salário, fazer o cálculo dos custos unitários de execução dos serviços (BAETA, 2012).

Um dos métodos utilizados para a análise de projeto é o *payback* descontado, ele serve para saber em quanto tempo o capital investido será retornado. Quem resolve investir estipula um determinado período que considera aceitável e este servirá para a análise de viabilidade do projeto. Ele consiste em igualar os fluxos de caixa futuros, descontados a uma taxa mínima de atratividade e trazidos a data zero, ao investimento inicial, o momento em que isto ocorre é o tempo de recuperação do investimento inicial (BORDEAUX-RÊGO et al., 2010).

Outra ferramenta utilizada para esta análise é o valor presente líquido - VPL, obtido pela subtração dos fluxos de caixa, descontados a uma taxa de custo de oportunidade da empresa, ao investimento inicial do projeto (FREZATTI, 2008). Esta estratégia é em função do valor investido, do fluxo de caixa gerado, do tempo em que ocorre o fluxo de caixa e o risco associado. Além de VPL, ele também é chamado de método do fluxo de caixa descontado e é dado pela Equação 1:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Onde:

I = investimento inicial,

FC_t = é o fluxo de caixa na data “t”

t = período de tempo

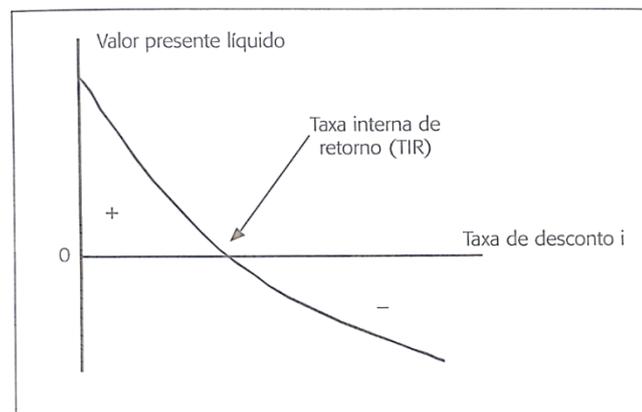
r = custo de capital definido pela empresa

VR = valor residual do projeto ao final do período de análise.

Para a tomada de decisão sobre o investimento deve-se verificar se o VPL é positivo, negativo ou nulo. Se este for positivo tem-se que na data zero os fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa mínima de atratividade tem valor presente maior do que o capital investido. Se isto acontece o capital investido é recuperado e a remuneração do investimento ultrapassa a taxa de atratividade da empresa (BORDEAUX-RÊGO et al., 2010).

Como forma de comparação com a taxa mínima de atratividade utiliza-se a taxa interna de retorno – TIR, que é a taxa de desconto que torna o valor presente líquido nulo, ou seja, igual ao valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial do projeto (FREZATTI, 2008). A Figura 6 ilustra o VPL em função da taxa de desconto e demonstra sua relação com a TIR.

Figura 6 - VPL em Função da Taxa de Desconto



Fonte: BORDEAUX-RÊGO et al. (2010)

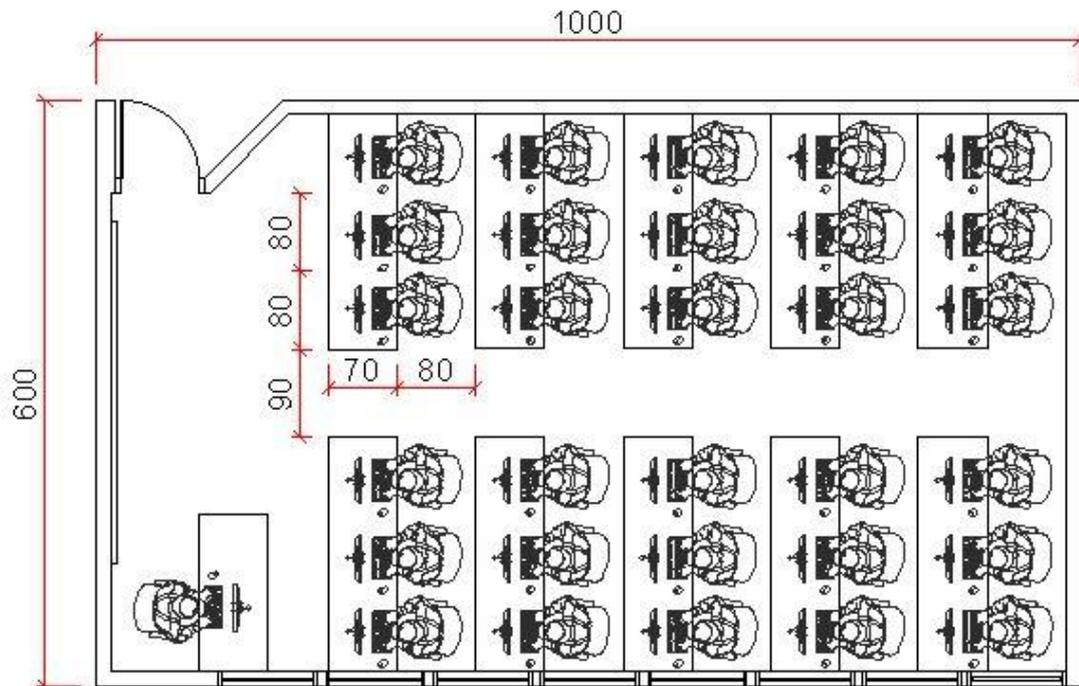
3 METODOLOGIA

Este capítulo explica o método utilizado para comparar economicamente o uso de cobertura vegetada com uma convencional em um edifício educacional público em Florianópolis. Para atingir os objetivos desta pesquisa foi utilizado o software *EnergyPlus* para a simulação numérica. A modelagem geométrica foi feita no programa *SketchUp* juntamente com o *plug-in* *Euclid* para a compatibilidade do modelo ao software. A metodologia de cálculo sobre coberturas vegetadas dentro do *EnergyPlus* foi conforme o modelo *EcoRoof* de Sailor (2008), através do material *RoofVegetation*. O capítulo explica as características do modelo base estudado e os tipos de coberturas. Por fim, a descrição de como foi organizada a metodologia para a análise dos resultados da simulação e análise econômica.

3.1 Modelo

Este modelo foi desenvolvido de modo a representar o último andar de um edifício educacional público. A decisão de utilizar somente o último pavimento está diretamente ligada a maior influência dos ganhos térmicos da cobertura sobre este, sendo a economia de energia referente ao ar condicionado muito mais significativa neste pavimento (COSTA; LIMA, 2017). Para essa representação a laje inferior foi considerada adiabática, ou seja, não participará das trocas de calor com o ambiente (HALLIDAY, 2011). Para a determinação do modelo analisado, primeiramente foi decidido o tamanho da sala, considerando-se 30 alunos por sala e utilização como laboratório de projetos auxiliado por computador. Foi considerado uma área de 1,5 m² por aluno, que ultrapassa o mínimo de 1 m² por aluno exigido pela Instrução Normativa 009 - IN09 (CBMSC, 2014). Foi criado o layout representado na Figura 7, possuindo as dimensões horizontais de 10m x 6m, e vertical de 2,8m, totalizando uma área de 60m², e um volume de 168m³ por sala.

Figura 7- Layout Sala

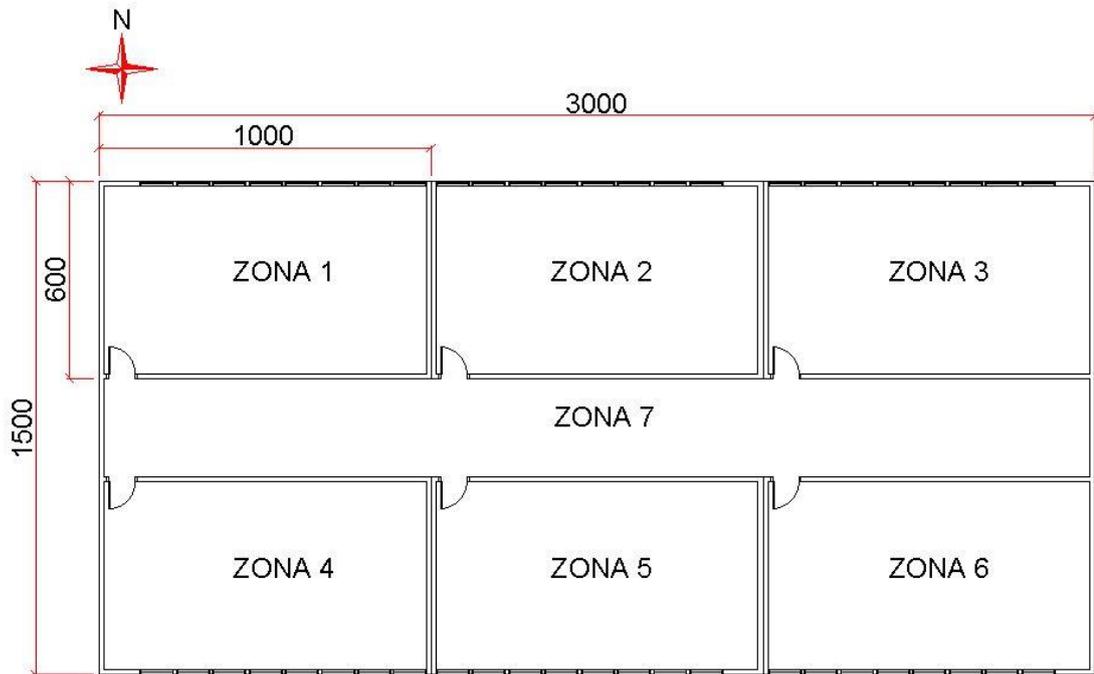


Fonte: elaborada pela autora.

O modelo completo é composto por seis salas e o corredor representados na Figura 8, onde cada um representa uma zona térmica na simulação numérica e o volume total corresponde a 1260 m³ cobertos por uma área de cobertura de 450 m², tal qual representado na Figura 9. As zonas 1, 3, 4 e 6 têm duas paredes em contato direto com o exterior e diferem na orientação solar, conforme ilustrado na Figura 8. As zonas 2 e 5 têm apenas uma parede para o meio externo, sendo uma orientada para o norte e outra para o sul, respectivamente. A área de abertura é 10,4 m², e corresponde a 17,33% da área do piso e está em conformidade com o Código de Obras de Florianópolis, que exige, no mínimo 16,67% (Florianópolis, 2000). As janelas estão localizadas sempre na maior face voltada para o exterior do edifício. A vedação vertical foi feita com bloco cerâmico de 6 furos e argamassa de reboco 2,5cm, a espessura total da parede foi de 14cm. Esta composição possui transmitância inferior a 3,7W/m²K, sendo esta a máxima exigida pelo RTQ-C para a zona bioclimática 3, onde está localizada Florianópolis, conforme NBR 15220-3 (ABNT, 2005). O modelo foi simulado com o arquivo bioclimático TRY da cidade de Florianópolis,

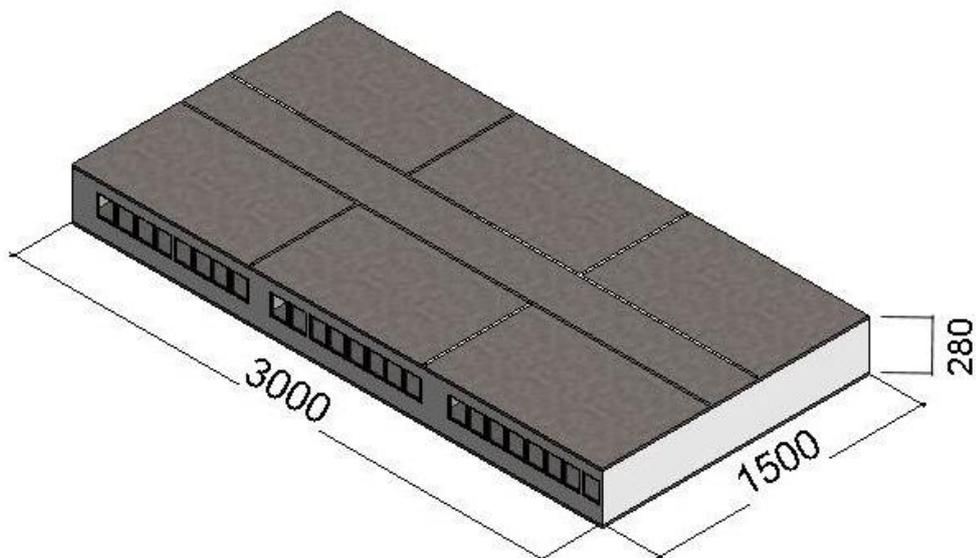
disponibilizado pelo site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC. Para a leitura da chuva foi utilizado o arquivo de precipitação disponibilizado no repositório de dados climáticos gratuitos para construção de simulação de desempenho (Climate One Building, 2019).

Figura 8- Planta baixa do modelo



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 9 - Modelo



Fonte: elaborada pela autora

A carga térmica interna definida foi feita a partir da quantidade de pessoas dentro de cada sala (30 alunos + 1 professor) em atividade metabólica baixa, de equipamentos eletrônicos, neste caso computadores (31 unidades) e luminárias. Para a carga de interna de iluminação será adotado o valor de $10,7\text{W}/\text{m}^2$ de densidade de potência de iluminação, que é o limite máximo para obtenção do nível A de etiquetagem do RTQ-C para iluminação em escolas e universidades (RTQ-C, 2010).

A simulação foi realizada para o período de um ano. Através da classe chamada “*schedule*” o programa nos permite restringir o uso conforme os horários e datas, ou seja, os finais de semana, feriados e período de férias escolares não há carga térmica e o ar condicionado não funciona. A “*schedule*” utilizada para delimitar o uso do ar condicionado e utilização de cargas internas foi feita em dias letivos com horário institucional educacional, das 07:30 até 11:30, 13:30 até 17:30 e das 18:30 até 22:30.

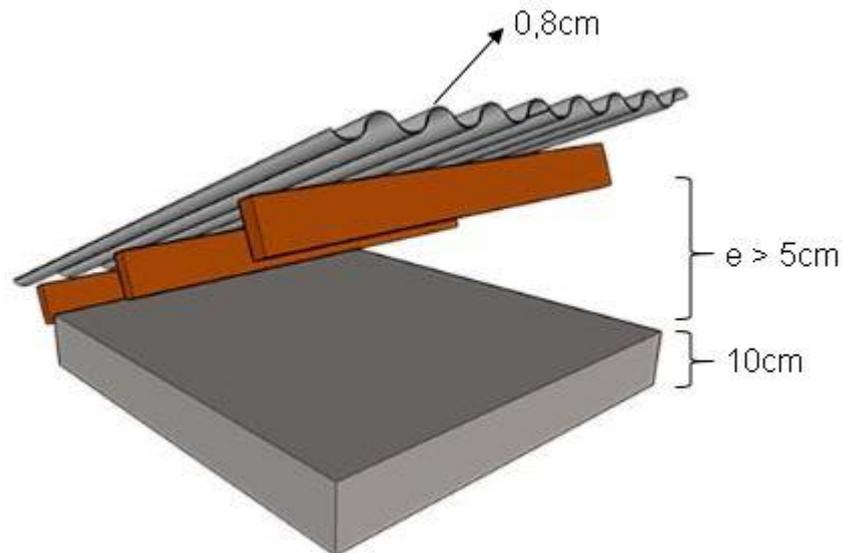
Para o consumo de energia elétrica com o resfriamento foi utilizado um sistema de ar do tipo SPLIT, a partir da classe “*HVAC template*” com características padrão do programa. O coeficiente de performance adotado foi de 3,24, valor mínimo conforme tabela do INMETRO para etiqueta nível A. Este sistema informa a quantidade de carga térmica que será necessária para manter o ambiente interno na temperatura desejada. A temperatura de conforto térmico proposta como *setpoint* para resfriamento foi de 23°C , segundo NBR 16.401-2 (ABNT, 2008) e esta temperatura está dentro dos limites que produz sensação aceitável de conforto térmico. A partir deste sistema o software permite relatórios de saída com a carga térmica necessária para resfriamento bem como o consumo, em kWh, de energia elétrica.

3.2 Coberturas

Serão simuladas 10 coberturas diferentes, sendo elas uma padrão e nove combinações diferentes de coberturas vegetadas. A cobertura padrão será composta de uma laje maciça, câmara de ar não ventilada com espessura maior que 5 cm com fluxo de ar descendente, e telhas de fibrocimento, conforme Figura 10. A laje terá espessura de 10 cm, as telhas serão de 8mm e as propriedades térmicas dos materiais utilizados serão propostas conforme a NBR 15.220, norma que estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas. A câmara de ar possui

resistência térmica de $0,21 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, a telha de fibrocimento tem densidade de massa aparente (ρ) de $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$, sua condutividade térmica (λ) de $0,65 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ e calor específico (c) de $0,84 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$. Para a laje de concreto estes valores serão $2200 \text{ kg}/\text{m}^3$, $1,75 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ e $1 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$, respectivamente.

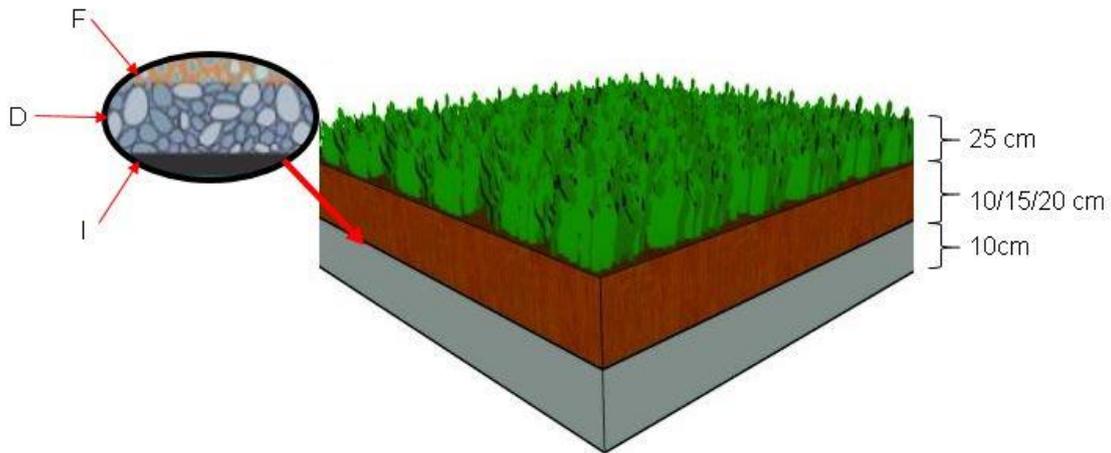
Figura 10 - Cobertura Fibrocimento



Fonte: Adaptado de <http://projeteee.mma.gov.br> (2018)

As coberturas vegetadas irão variar conforme os índices de área foliar (IAF), onde serão utilizados os valores 1, 3 e 5, sendo 1 o menor e 5 o maior. Além do IAF, será variada a espessura do substrato vegetal, com valores de 10, 15 e 20 cm. Somente estes parâmetros serão variados, pois conforme Yu (2006), o IAF interfere diretamente na eficiência da cobertura vegetada e a camada de substrato poderá auxiliar na inércia térmica. Conforme Liz (2016), variações na espessura do substrato e vegetação mostram maior redução no ganho de calor. A sequência das camadas da cobertura vegetada será (vide Figura 11): vegetação de 25 cm altura; substrato vegetal; camada filtrante (F); camada drenante (D); membrana de impermeabilização (I) acima da laje.

Figura 11 - Cobertura Vegetada



Fonte: Adaptado de <http://projeteee.mma.gov.br> (2018)

As três últimas camadas (F, D, I) não fazem parte das propriedades especificadas na seção *Roof Vegetation* do programa *EnergyPlus*, tendo suas características listadas na Tabela 1. Além dos parâmetros já citados, as coberturas vegetadas necessitam de características específicas da vegetação e estas terão seus valores fixados conforme o Quadro 3, que serão necessários para a simulação e foram retirados da pesquisa feita por Dias (2016).

Tabela 1- Propriedades Materiais da Cobertura Vegetada

| Camadas | Espessura (m) | ρ (kg/m ³) | λ (W/m.K) | c (kJ/kg.K) |
|-------------------|---------------|-----------------------------|-------------------|---------------|
| Filtrante | 0,005 | 160 | 0,06 | 2,5 |
| Drenagem | 0,06 | 800 | 0,08 | 0,92 |
| Impermeabilização | 0,007 | 1200 | 0,17 | 0,92 |

Fonte: Adaptado de Capozzoli et al. (2013)

Quadro 3- Características *RoofVegetation*

| [Class;Material:RoofVegetation] | |
|--|----------------------|
| Parâmetro de Entrada | Valor Utilizado |
| Referentes à Vegetação | |
| Altura das plantas (m) | 0,25 |
| Refletância das folhas | 0,25 |
| Emissividade das folhas | 0,9 |
| Resistência estomatal mínima (s/m) | 120 |
| Referentes ao Substrato | |
| Rugosidade | <i>Medium Rought</i> |
| Condutividade térmica (W/m.K) | 0,2 |
| Massa específica (kg/m ³) | 1020 |
| Calor específico (J/kg.K) | 1100 |
| Absortância térmica | 0,9 |
| Absortância solar | 0,75 |
| Absortância visível | 0,75 |
| Conteúdo volumétrico saturado de umidade (m ³ /m ³) | 0,3 |
| Conteúdo volumétrico residual de umidade (m ³ /m ³) | 0,01 |
| Conteúdo volumétrico inicial de umidade (m ³ /m ³) | 0,15 |
| Método de cálculo da difusão da umidade no substrato | <i>Advanced</i> |

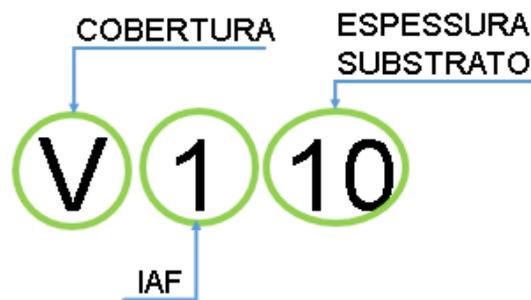
Fonte: Adaptado de Dias (2016)

3.3 Simulações Paramétricas

Foram feitas, ao todo, dez simulações, uma correspondente a cada modelo. A característica que as diferiu foi a cobertura, uma padrão e nove vegetadas. Dentre as vegetadas foi variado o índice de área foliar, que, conforme Sailor (2008), representa a projeção de área de folhas por unidade de área de solo, sendo este valor adimensional. Neste estudo foi variado entre 1, 3 e 5 com intuito de variar a área

coberta por vegetação com uma área mínima, intermediária e alta. Outro parâmetro variado na cobertura vegetada foi a espessura do substrato vegetal, propondo-se as variações de 10, 15 e 20 cm de altura, sendo este último valor, segundo Ferraz (2012), a máxima espessura de camada de substrato para uma cobertura vegetada extensiva. Cada um dos dez modelos foi composto por sete zonas térmicas com diferentes orientações solares, o que resultou em um consumo total de energia. Para identificar cada uma das dez simulações foi criada uma sigla, onde a primeira letra representa o tipo de cobertura, V para vegetada e P para padrão, o segundo dígito corresponde ao índice de área foliar de 1, 3 ou 5, o terceiro e o quarto dígito são a espessura do substrato de 10, 15 ou 20cm. A Figura 12 ilustra a explicação e o Quadro 4 mostra todas as possíveis combinações.

Figura 12 - Esquema Nomeação Simulações



Fonte: Elaborado pela autora

Quadro 4- Combinações

| Combinações |
|--------------------|
| P |
| V110 |
| V115 |
| V120 |
| V310 |
| V315 |
| V320 |
| V510 |
| V515 |
| V520 |

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.1 Análise dos Resultados das Simulações

Após a realização das simulações, seus resultados foram analisados. O consumo de energia elétrica com resfriamento foi fornecido em kWh através da variável de saída *Cooling:Electricity*. Por meio desta variável foi possível comparar o consumo entre os diferentes tipos de cobertura.

Ainda como variáveis de saída foram solicitadas as temperaturas externas (*Environment:Site Outdoor Air Drybulb Temperature*), temperaturas internas de cada zona com a utilização do sistema de condicionamento de ar (*Zone Mean Air Temperature*) e a carga térmica necessária para resfriar o ambiente (*Air System Total Cooling Energy*), sendo todos estes dados fornecidos de hora em hora.

A partir destes dados foram analisadas as temperaturas e carga térmica necessária para resfriamento em cada zona, com intuito de embasar possíveis tomadas de decisões, por parte do projetista, na escolha da cobertura vegetada comparada com um telhado padrão.

3.4 Análise Econômica

Em simulações já realizadas verificou-se que o desempenho térmico da cobertura vegetada é superior ao da cobertura de fibrocimento (DIAS, 2016). Este fator é um indício que relaciona o consumo de energia com o uso do ar condicionado

entre as coberturas. Neste estudo foram realizadas simulações numéricas com as mesmas características de posição solar, zona bioclimática, materiais de envoltórias e cargas internas para poder comparar em condições iguais o consumo de energia elétrica com resfriamento para uma cobertura com telhado de fibrocimento e uma cobertura vegetada.

Após a análise dos resultados das simulações numéricas e constatação da cobertura vegetada com menor consumo energético, pôde-se levantar os custos referentes a ela e ao modelo com telhado de fibrocimento.

Primeiramente foram levantados os custos com o consumo de energia elétrica para resfriamento. O consumo de energia foi retirado do resultado das simulações, onde foi utilizada a classe *Utility Cost* e foi possível separar os horários de pico e fora de pico, pois estes têm preços distintos e foram retirados da tabela de tarifas da CELESC (2019).

Conforme citado no item 3.2, a cobertura padrão (C.P.) é composta de uma laje maciça e telhas de fibrocimento. Como a laje será a mesma nos dois casos, além da mão de obra, os custos dos materiais da cobertura padrão serão somente o telhado de fibrocimento e o madeiramento da estrutura. Estes custos foram retirados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI e fizeram parte do fluxo de caixa como entrada positiva na data zero, ou seja, eles já seriam gastos se não houvesse a cobertura vegetada, portanto este valor será deduzido do custo da cobertura vegetada.

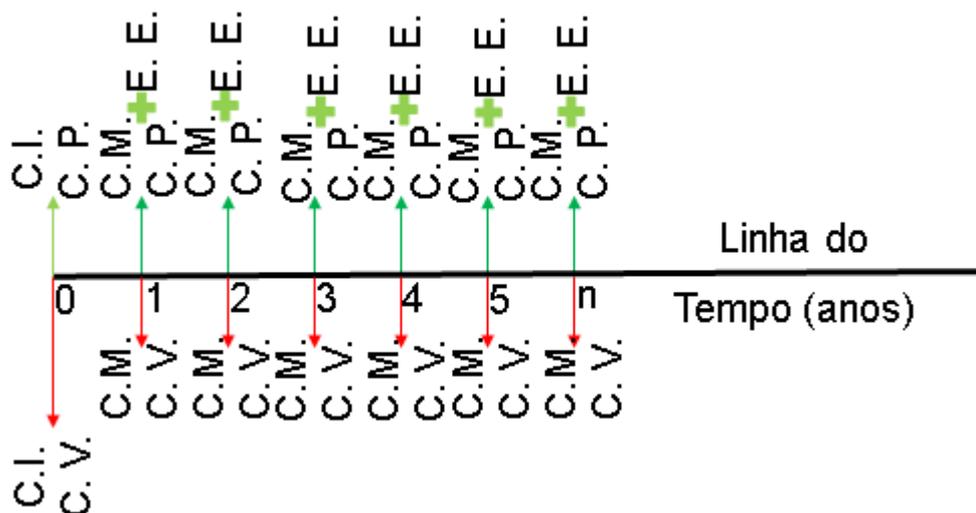
O custo da cobertura foi calculado através do levantamento de preço em empresas especializadas como também composições de preço no SINAPI. Foram feitas adaptações para se equiparar aos serviços propostos, ou a junção das duas opções acima citadas.

Além dos custos das coberturas também fez-se necessário o custo de manutenção das mesmas, pois tanto o telhado de fibrocimento quanto a cobertura vegetada necessitam de limpeza e manutenção. Silveira et al. (2012) realizou um estudo e verificou que as telhas de fibrocimento sujas podem ter sua temperatura superficial aumentada em quase 6°C, o que piora seu desempenho térmico e evidencia a necessidade de manutenção, estipulando-se portanto uma manutenção anual. Para coberturas vegetadas do tipo extensiva, a necessidade de manutenção é

mínima (Oberndorfer et al., 2007). Além da bibliografia estudada, juntamente com a pesquisa de preço sobre a instalação da cobertura vegetada, foi levantada a frequência de sua manutenção para uma cobertura de 450 m².

Após o término do levantamento de custos das coberturas, estes foram demonstrados e organizados de forma a serem compilados em custo iniciais (C.I.), que contemplam os materiais e instalação, e custos de manutenção (C.M.), que farão parte do fluxo de caixa demonstrado na Figura 13. Como o estudo é para uso educacional público espera-se que a cobertura vegetada (C.V.) gere benefícios por um longo período, então seu limitante será o tempo de vida útil da mesma. Para finalizar a composição do fluxo de caixa, ilustrado na Figura 13, o lucro considerado foi o valor economizado com a energia (E.E.) e será considerado como valor positivo.

Figura 13- Esquema Fluxo de Caixa



Fonte: elaborado pela autora.

Para o comparativo financeiro, primeiramente foi calculada a TIR, taxa que deixa o VPL nulo. Através dela pode-se comparar com qualquer taxa de investimento, ou se o investimento teve retorno. Em seguida foi calculado o valor presente líquido (VPL) do projeto, sendo este mais um método para tomada de decisão na hora de escolher ou decidir por um projeto. Este método avalia a viabilidade do investimento para um determinado período (BORDEAUX-RÊGO et al., 2010). Para o cálculo do VPL, ou fluxo de caixa descontado, é necessário o emprego de uma taxa mínima de atratividade (TMA). Através dela há a possibilidade de considerar o valor do dinheiro

no tempo. Por se tratar de uma obra pública, esta não tem uma TMA de investimento no próprio capital, ou seja, não se tem um custo de capital próprio. Para este caso foi utilizado o rendimento da poupança, onde conforme o Banco Central do Brasil, é de no máximo 0,5% ao mês. Sendo assim, decidiu-se a fixação da TMA em 0,5% ao mês, que transformada para equivalente em taxa anual, para acompanhar os fluxos anuais, resultou em 6,17% ao ano.

O tempo considerado no fluxo de caixa foi o prazo médio de vida útil da cobertura vegetada. Como esta pode durar por período indeterminado, será utilizado o tempo de vida correspondente a impermeabilização da laje. A NBR 15575 (ABNT, 2013) diz que impermeabilizações de jardineiras, áreas externas com jardins e coberturas não utilizáveis tem prazo de vida útil mínimo de 8 e máximo de 12 anos, optando-se pela utilização do tempo médio de 10 anos. O método do *payback* foi utilizado com intuito de descobrir em quanto tempo o investimento da cobertura vegetada irá retornar.

Através do fluxo de caixa descontado, onde, neste caso, pressupõe-se que os fluxos de caixa anuais serão iguais, é possível encontrar seu valor de forma a zerar o VPL e saber a partir de quando o investimento terá um retorno efetivo. Tem-se a taxa mínima de atratividade determinada e o tempo de projeto definido, logo, é possível calcular um valor necessário para zerar o VPL. A Equação 1, é a equação geral do VPL e a Equação 2, desenvolvida a partir da Equação 1, foi a encontrada para, ao final do comparativo financeiro descobrir o valor necessário de economia com energia elétrica de resfriamento para que o investimento se pague. Ao final da análise este valor será indexado ao CUB para neutralizar os efeitos da inflação de modo a permitir futuras comparações.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$0 = -I + \frac{FC_t}{(1+0,0617)^1} + \frac{FC_t}{(1+0,0617)^2} + \dots + \frac{FC_t}{(1+0,0617)^{10}} \quad (2)$$

$$I = \frac{196,35 * FC}{26,89}$$

$$I = 7,30 * FC$$

$$FC = 0,13695 * I \quad (2)$$

Onde, na Equação 2:

FC = Fluxo de caixa anual necessário para zerar o VPL

I = Diferença entre custos iniciais entre cobertura vegetada e de fibrocimento.

4 RESULTADOS

Neste capítulo as análises dos resultados das simulações foram representadas para melhor explicar o comportamento térmico das coberturas vegetadas e de fibrocimento para as características do modelo proposto. Após esta análise foram demonstrados e levantados os custos de cada tipo de cobertura e também com o consumo de energia elétrica para resfriamento, ao final o comparativo econômico entre as duas coberturas. Após o comparativo e a análise das simulações, sentiu-se a necessidade de comparar economicamente a cobertura de fibrocimento com a vegetada somente em algumas zonas. Através das novas comparações foi possível analisar três TIR e comparar os investimentos.

4.1 Análise dos Resultados das Simulações

Após a realização das simulações numéricas a primeira análise foi o consumo de kWh por ano, para uso com resfriamento, entre os diferentes modelos. A cobertura vegetada que teve o menor consumo de energia elétrica para resfriamento foi a de espessura 10cm e índice de área foliar 5, representando 6,8% de redução em relação a cobertura padrão. O Quadro 5 demonstra o consumo de energia em ordem decrescente, bem como seus percentuais de redução. O consumo de energia variou pouco entre os tipos e a característica que sobressaiu como menor consumo foram as coberturas com espessura de substrato menores. Este resultado pode ter sido em decorrência do substrato impedir o fluxo de calor ascendente, dificultando a saída da carga interna do ambiente.

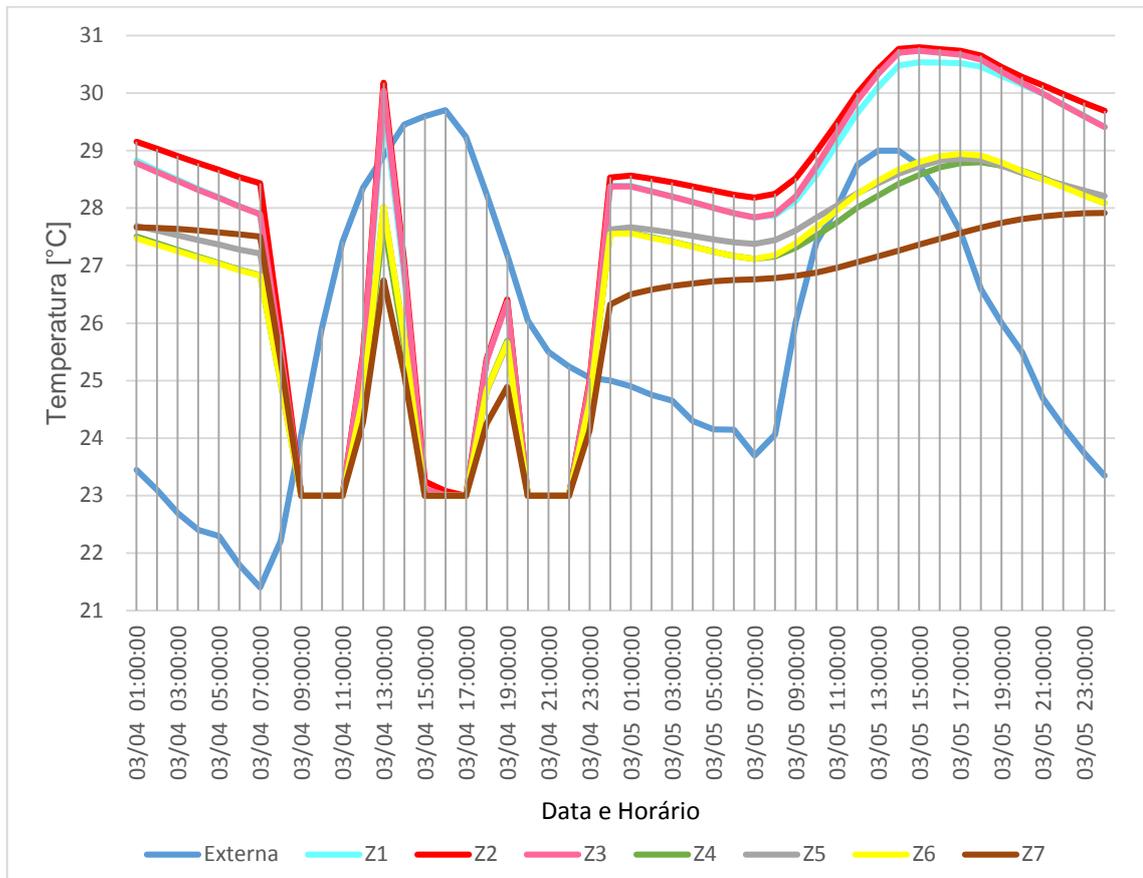
Quadro 5 - Comparação de Consumo de Energia para Resfriamento

| Tipo de Cobertura | Energia Consumida [kWh] | % Economia |
|--------------------------|--------------------------------|-------------------|
| V510 | 38.937 | 6.80% |
| V310 | 39.154 | 6.28% |
| V515 | 39.160 | 6.27% |
| V110 | 39.278 | 5.98% |
| V520 | 39.343 | 5.83% |
| V315 | 39.363 | 5.78% |
| V115 | 39.482 | 5.50% |
| V320 | 39.528 | 5.39% |
| V120 | 39.641 | 5.12% |
| Padrão | 41.778 | - |

Fonte: Elaborado pela autora

A partir da cobertura vegetada selecionada, V510, foi analisado o comportamento entre as zonas. O gráfico da Figura 14 demonstra a variação de temperatura durante dois dias de verão, sexta e sábado, sexta com a utilização do ar condicionado e sábado sem. Através dele é possível perceber que as zonas 1, 2 e 3, voltadas para o norte, tem temperaturas mais elevadas do que as voltadas para o sul, zonas 4, 5 e 6. A zona 7, central, é a zona com temperaturas mais baixas, esta zona possui carga térmica interna menor por não se tratar de uma sala de aula, além disto tem pouca área em contato direto com o meio externo, então seu ganho de calor é muito maior pela cobertura do que pela vedação vertical.

Figura 14 - Temperatura das Zonas Térmicas do Modelo V510



Fonte: Elaborado pela autora

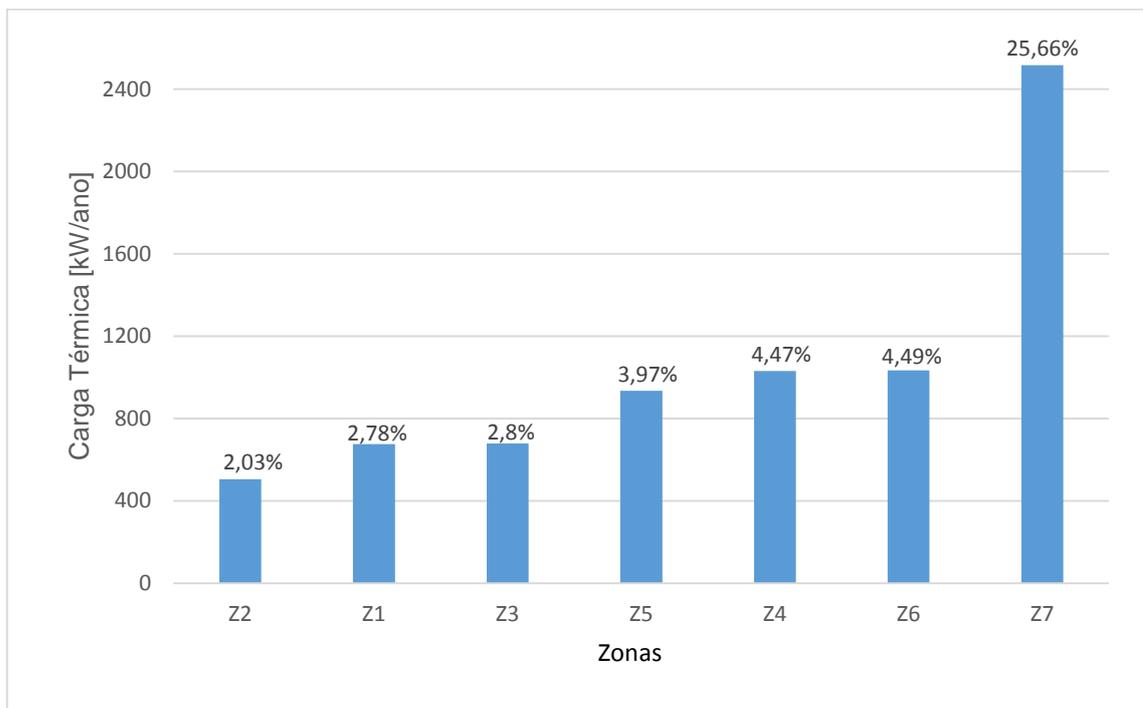
Após verificar a diferença de temperatura entre as zonas comparou-se a carga térmica necessária para resfriamento entre todas as zonas do modelo V510 e P. O Quadro 6, mostra, em kW, a carga térmica de resfriamento para o período de um ano. As zonas em que a carga térmica foi maior acompanham o gráfico de temperatura da Figura 14. Este comportamento ocorre tanto na cobertura vegetada quanto na de fibrocimento, porém o percentual de redução das cargas nas diferentes zonas não é o mesmo. A Figura 15 mostra o gráfico com as reduções de cargas ao ano bem como a porcentagem de redução quando comparado com o modelo de cobertura padrão. A cobertura vegetada obteve resultados mais eficientes nas salas voltadas para o sul e na zona 7, onde a carga interna gerada é menor.

Quadro 6 - Carga Térmica de Resfriamento

| Zonas | Carga térmica [kW] | |
|-------|--------------------|----------|
| | P | V510 |
| Z1 | 24.276,9 | 23.601,9 |
| Z2 | 24.844,1 | 24.339,6 |
| Z3 | 24.276,8 | 23.598,0 |
| Z4 | 23.053,4 | 22.022,8 |
| Z5 | 23.527,9 | 22.593,3 |
| Z6 | 23.054,4 | 22.020,1 |
| Z7 | 9.808,9 | 7.292,3 |

Fonte: Elaborado pela autora

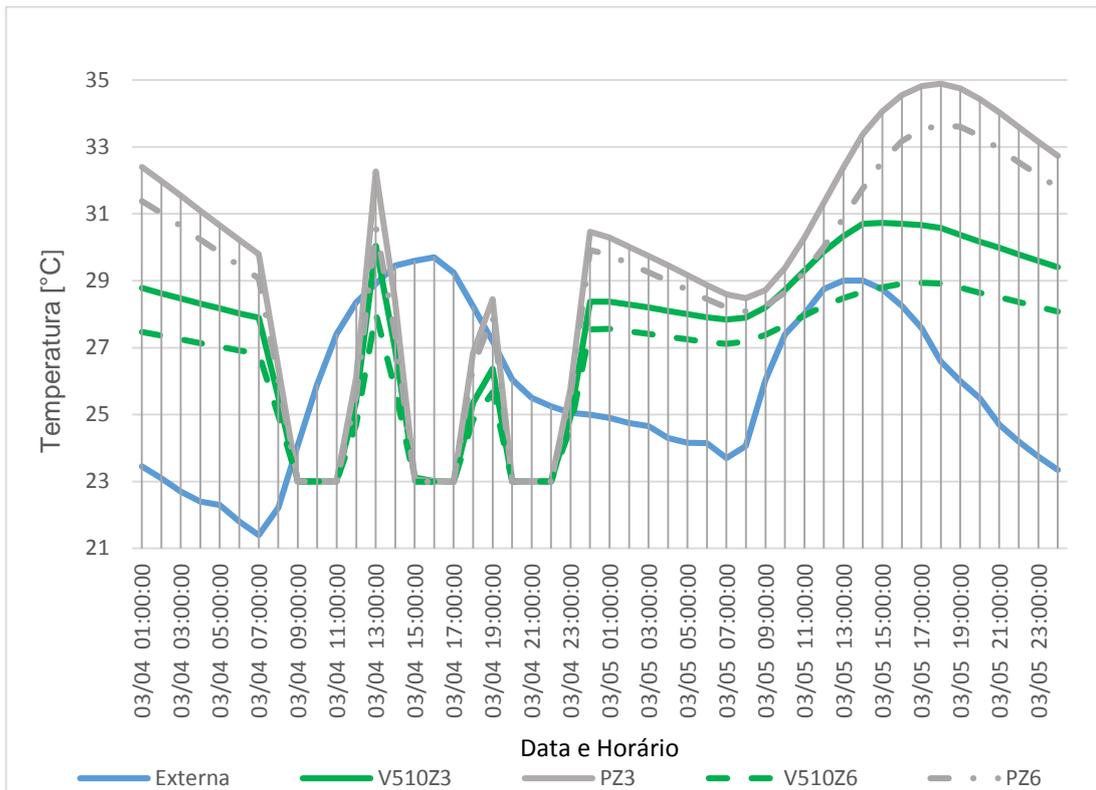
Figura 15 - Gráfico de Redução de Carga Térmica de Resfriamento entre modelo P e V510



Fonte: Elaborado pela autora

Após a comparação entre cargas térmicas, foi utilizado o mesmo período da Figura 14 para comparar as temperaturas entre mesmas zonas nos dois modelos (vegetada e fibrocimento). A Figura 16 mostra o gráfico das temperaturas das zonas 3, voltadas para norte, e das zonas 6, voltadas para sul.

Figura 16 – Temperatura Zona 3 e 6 nos Modelos P e V510



Fonte: Elaborado pela autora

Através deste gráfico, Figura 16, é possível perceber que a inclinação da redução da temperatura durante a noite é maior na cobertura de fibrocimento do que na cobertura vegetada. Quando entram em seu pico de temperatura durante a madrugada (01:00 hora), a diferença de temperatura entre elas pode chegar perto do dobro de quanto atingem a mínima pela manhã, as (07:00 horas). Pode-se concluir que a cobertura padrão troca calor com o meio externo mais rapidamente. É possível perceber que no início dos intervalos, durante o dia letivo, há um aumento na temperatura devido ao fato do desligamento do ar condicionado, a temperatura com a cobertura vegetada eleva-se menos pois não irá trocar calor tão rapidamente com o meio externo

Durante o verão, nos dias sem o uso do condicionamento de ar, a temperatura interna dos ambientes com cobertura vegetada, nas zonas correspondente as salas de aula, pode diminuir em até 10,2°C quando comparada com a de fibrocimento. No inverno acontece o oposto, ela pode ser mais alta em até 4,9°C, o que permite uma aproximação da temperatura de conforto quando

comparada a de fibrocimento. Ao final desta análise foi possível compreender um pouco melhor como a cobertura vegetada se comportou termicamente quando comparada com a de fibrocimento, também podendo-se entender qual a tendência de comportamento em cada uma das zonas.

4.2 Análise Econômica

Este item é composto pelo levantamento dos custos de instalação, materiais e manutenção das coberturas vegetadas para dar suporte ao comparativo econômico. Ao final do levantamento de custos foi feito o comparativo econômico entre a cobertura de fibrocimento e a cobertura vegetada com 10cm de espessura em todas as zonas.

4.2.1 Custos

Para o estudo de comparação foram levantados os custos com o consumo de energia elétrica consumida com o resfriamento, o custo de uma cobertura de fibrocimento e de uma cobertura vegetada. Para este levantamento foram desconsiderados os custos comuns entre as duas coberturas, neste caso a laje de concreto e tubulação de escoamento pluvial.

4.2.1.1 Energia Elétrica de Resfriamento

O custo com energia elétrica foi feito a partir do consumo anual de kWh. O software *EnergyPlus* fornece os dados de consumo em kWh e permite que seja discriminado em seu relatório de saída o tipo de utilização e o consumo conforme horário. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019) tem em seus postos tarifários a separação entre horário fora de ponta e de ponta, sendo este o período composto por três horas diárias consecutivas definidas por cada distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico. A distribuidora de Florianópolis, CELESC, tem definido como horário de ponta das 18:30 até 21:30, sendo este o horário a ser configurado no programa para receber os dados de consumo e separar entre ponta e fora de ponta.

Os valores das Tarifas foram retirados da CELESC, e foram enquadrados na categoria A4 – Demais Classes, Tarifa horária Verde conforme o Manual de tarifação da energia elétrica (PROCEL, 2011). O valor do kWh para o horário de ponta é de R\$ 1,23251 e fora de ponta R\$ 0,36506 conforme tabela tarifa horária verde (CELESC, 2019). Os consumos anuais de energia elétrica estão especificados no Quadro 7, totalizando anualmente R\$ 24.146,41 para o modelo com cobertura padrão e R\$ 22.053,28 com a cobertura vegetada, o que gerou uma economia anual com energia elétrica no valor de R\$ 2.093,13.

Quadro 7 – Consumo e Custo Anual de Energia Elétrica com Resfriamento

| Horário Consumo | Fibrocimento | | Vegetada | |
|----------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | kWh | R\$ | kWh | R\$ |
| Ponta | 10.252,86 | 12.636,75 | 9.035,45 | 11.136,28 |
| Fora de Ponta | 31.528,14 | 11.509,66 | 29.904,66 | 10.917,00 |
| TOTAL | 41.781,00 | 24.146,42 | 38.940,11 | 22.053,28 |

Fonte: Elaborado pela autora

4.2.1.2 Cobertura Fibrocimento

O custo da cobertura de fibrocimento foi retirado do SINAPI. Para tal foi considerada a área da cobertura de 450 m² e para cumeeira o comprimento da cobertura, 30 metros. O custo do material dividiu-se em madeiramento, telhamento e cumeeira. Foi retirado respectivamente dos itens 92566, 94210 e 94223 do catálogo de composições analíticas de 04/2019. O custo com madeiramento está demonstrado no Quadro 8 e resultou em R\$ 9.003,95.

Quadro 8 – Custo com Madeiramento

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|--|--------------|---|-----------|-------|-------------|-------------|----------------------|
| Cod sinapi 01.cobe. etmm.150/01 | 92566 | Fabricação e instalação de estrutura pontaletada de madeira não aparelhada para telhados com até 2 águas e para telha ondulada de fibrocimento, metálica, plástica ou termoacústica, incluso transporte vertical. af_12/2015 | M² | | Uni | M² | Total [450M²] |
| Insumo | 4425 | viga de madeira não aparelhada 6 x 12 cm, maçaranduba, angelim ou equivalente da região | M | 0,222 | 23,24 | 5,16 | 2.321,68 |
| Insumo | 4430 | caibro de madeira não aparelhada *5 x 6* cm, maçaranduba, angelim ou equivalente da região | M | 0,556 | 12,00 | 6,67 | 3.002,4 |
| Insumo | 4472 | viga de madeira não aparelhada *6 x 16* cm, maçaranduba, angelim ou equivalente da região | M | 0,074 | 31,64 | 2,34 | 1.053,61 |
| Insumo | 5075 | prego de aço polido com cabeça 18 x 30 (2 3/4 x 10) | KG | 0,12 | 10,17 | 1,22 | 549,18 |
| Composição | 88239 | ajudante de carpinteiro com encargos complementares | H | 0,073 | 19,74 | 1,44 | 648,46 |
| Composição | 88262 | carpinteiro de formas com encargos complementares | H | 0,116 | 24,33 | 2,82 | 1.270,03 |
| Composição | 93281 | guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chp diurno. af_03/2016 | CHP | 0,006 | 23,5 | 0,14 | 65,56 |
| Composição | 93282 | guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chi diurno. af_03/2016 | CHI | 0,009 | 22,72 | 0,21 | 93,04 |
| Total | | | | | | | 9.003,95 |

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019)

O telhamento está discriminado no Quadro 9, na composição escolhida no caderno técnico de composição para telhamento e serviços complementares para estrutura (SINAPI, 2019) é permitida a substituição do insumo 7194 para o 7198, ou seja, a telha de 6mm está sendo trocada na composição com o mesmo coeficiente pela telha de 8mm.

Quadro 9 - Custo Telhamento Fibrocimento

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|--|--------------|---|-----------|-------|-------------|-------------|----------------------|
| Cod sinapi 01.cobe. telh.024/01 | 94210 | Telhamento com telha ondulada de fibrocimento e = 6 mm, com recobrimento lateral de 1 1/4 de onda para telhado com inclinação máxima de 10°, com até 2 águas, incluso içamento. af_06/2016 | M² | | Uni | M² | Total [450M²] |
| Insumo | 1607 | conjunto arruelas de vedação 5/16" para telha fibrocimento (uma arruela metálica e uma arruela pvc - cônicas) | CJ | 1,26 | 0,16 | 0,20 | 90,72 |
| Insumo | 4302 | parafuso zincado rosca soberba, cabeça sextavada, 5/16 " x 250 mm, para fixação de telha em madeira | UN | 1,26 | 2,48 | 3,12 | 1.406,16 |
| Insumo | 7198 | telha de fibrocimento ondulada e = 8 mm, de 3,66 x 1,10 m (sem amianto) | M2 | 1,357 | 25,77 | 34,97 | 15.736,45 |
| Composição | 88316 | servente com encargos complementares | H | 0,166 | 16,54 | 2,75 | 1.235,54 |
| Composição | 88323 | telhadista com encargos complementares | H | 0,128 | 22,64 | 2,90 | 1.304,06 |
| Composição | 93281 | guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chp diurno. af_03/2016 | CHP | 0,005 | 23,5 | 0,12 | 56,05 |
| Composição | 93282 | guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chi diurno. af_03/2016 | CHI | 0,007 | 22,72 | 0,16 | 74,63 |
| Total | | | | | | | 19.903,62 |

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019)

A cumeeira tem seus custos demonstrados no Quadro 10, a tabela de preços de insumo do SINAPI de 04/2019 possui telhas de 8mm porém a cumeeira só foi disponibilizada na espessura de 6mm então esta foi utilizada sem substituição equivalente, o que pode ter deixado este item um pouco abaixo do valor real.

Quadro 10 - Custo Cumeeira

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|-----------------------------|--------------|--|----------|-------|-------------|-------------|--------------------|
| 01.cobe. telh.035/01 | 94223 | Cumeeira para telha de fibrocimento ondulada e = 6 mm, incluso acessórios de fixação e içamento. af_06/2016 | M | | Uni | M | Total [30M] |
| Insumo | 1607 | conjunto arruelas de vedação 5/16" para telha fibrocimento (uma arruela metálica e uma arruela pvc - cônicas) | CJ | 4,2 | 0,16 | 0,67 | 20,16 |
| Insumo | 4302 | parafuso zincado rosca soberba, cabeça sextavada, 5/16 " x 250 mm, para fixação de telha em madeira | UN | 4,2 | 2,48 | 10,42 | 312,48 |
| Insumo | 7219 | cumeeira universal para telha ondulada de fibrocimento, e = 6 mm, aba 210 mm, comprimento 1100 mm (sem amianto) | UN | 1,029 | 26,45 | 27,22 | 816,51 |
| Composição | 88316 | servente com encargos complementares | H | 0,108 | 16,54 | 1,79 | 53,59 |
| Composição | 88323 | telhadista com encargos complementares | H | 0,095 | 22,64 | 2,16 | 64,52 |
| Composição | 93281 | guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chp diurno. af_03/2016 | CHP | 0,002 | 23,50 | 0,04 | 1,27 |
| Composição | 93282 | guincho elétrico de coluna, capacidade 400 kg, com moto freio, motor trifásico de 1,25 cv - chi diurno. af_03/2016 | CHI | 0,003 | 22,72 | 0,06 | 1,77 |
| Total | | | | | | | 1.270,31 |

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019)

O custo de implantação da cobertura de fibrocimento foi de R\$ 30.177, 88, ou seja, R\$ 67,06 por m². A manutenção feita nas telhas de fibrocimento foi considerada como a limpeza das mesmas, o custo com limpeza do telhado foi retirado do SINAPI através da composição 99814 e foi contabilizado uma vez ao ano, o Quadro 11 demonstra os valores.

Quadro 11 - Custo Manutenção Telhado Fibrocimento

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] | |
|----------------------------|--------------|---|----------------------|-------|-------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| 01.sedi.limp.014/01 | 99814 | Limpeza de superfície com jato de alta pressão. af_04/2019 | M² | | Uni | M² | Total [450M²] | |
| Composição | 88316 | servente com encargos complementares | H | 0,089 | 16,54 | 1,47 | 662,43 | |
| Composição | 99833 | Lavadora de alta pressão (lava-jato) para água fria, pressão de operação entre 1400 e 1900 lib/pol ² , vazão máxima entre 400 e 700 l/h - chp diurno. af_04/2019 | CHP | 0,015 | 1,13 | 0,02 | 7,73 | |
| Total | | | | | | | | 670,05 |

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019)

4.2.1.3 Cobertura Vegetada

Foram realizadas pesquisas em quatro empresas que trabalham com cobertura vegetada, o Quadro 12 demonstra por m² o valor orçado por elas para o sistema de cobertura vegetada ofertado por cada uma, somente as empresas B e C oferecem mão de obra e nenhuma delas tem em seu preço incluso o valor da impermeabilização. As empresas C e D não se localizam em Florianópolis, o preço no Quadro 12 não está incluso frete. Entre as empresas B e C a de menor orçamento é a empresa B, com o custo por m² de R\$ 180,00, sendo que aproximadamente 78% do valor corresponde ao material e 22% a mão de obra.

Quadro 12 - Pesquisa em Empresas de Cobertura Vegetada

| Camadas | A | | B | | C | | D | |
|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | Material [R\$] | Mão de Obra [R\$] |
| Impermeabilização | Não | Não | Não | Não | Não | Não | Não | Não |
| Drenante | 51,95 | Não | 140,00 | 40,00 | 93,20 | 38,78 | 180,00 | Não |
| Filtrante | Não | Não | | | | | | Não |
| Substrato | Não | Não | | | 62,60 | | | Não |
| Vegetação | Não | Não | | | | | | Não |

Fonte: Elaborado pela Autora

Como a empresa com menor valor que oferta todos os serviços não os discriminou separadamente optou-se por fazer uma composição no SINAPI através de algumas adaptações que estão especificadas separadamente por camadas a seguir.

Dentro do sistema de cobertura vegetada primeiramente é necessária a impermeabilização da laje, cujo custo foi baseado na área da cobertura e feito através na composição 98546 do caderno de impermeabilização do SINAPI. O Quadro 13 demonstra o orçamento cujo valor resultou em R\$ 30.961,70.

Quadro 13 - Custo com Impemeabilização

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|-----------------------------|--------------|--|----------------------|-------|-------------|----------------------|---------------------------------|
| 01,impe,mant, 001/01 | 98546 | Impermeabilização de superfície com manta asfáltica, uma camada, inclusive aplicação de primer asfáltico, e=3mm, af_06/2018 | M² | | Uni | M² | Total [450m²] |
| Insumo | 511 | primer para manta asfáltica a base de asfalto modificado diluído em solvente, aplicação a frio | L | 0,615 | 24,90 | 15,31 | 6.891,07 |
| Insumo | 4014 | manta asfáltica elastomérica em poliéster 3 mm, tipo iii, classe b, acabamento pp (nbr 9952) | M2 | 1,125 | 26,35 | 29,64 | 13.339,69 |
| Insumo | 4226 | gás de cozinha - glp | KG | 0,260 | 5,34 | 1,39 | 624,78 |
| Composição | 88243 | ajudante especializado com encargos complementares | H | 0,192 | 20,54 | 3,94 | 1.774,66 |
| Composição | 88270 | impermeabilizador com encargos complementares | H | 0,948 | 19,53 | 18,51 | 8.331,50 |
| Total | | | | | | | 30.961,70 |

Fonte: Adaptado de SINAPI (2019)

Após a impermeabilização é feita a camada de drenagem. O custo desta parte do sistema foi baseado no orçamento da empresa A para a parte do material e do SINAPI para a mão de obra. A empresa pesquisada ofereceu uma geomembrana drenante em rolos de 40m², conforme Figura 17, ou seja, a metragem total passou a ser de 480 m², o que já inclui perdas com o material, pois a cobertura possui 30m² a menos. O valor do m² da manta custa R\$ 48,70 resultando num total de R\$ 23.376,00. Esta mesma empresa não oferece mão de obra, porém informou que não necessita de profissional especializado para instalação, então, optou-se por utilizar uma

composição do SINAPI que também trabalhe com geomembranas para parametrizar o valor da mão de obra. A composição foi a de número 74033/1 do catálogo de composições analíticas do SINAPI de 04/2019 e resultou em um valor de mão de obra de R\$ 3.502,80. O custo total com a camada drenante foi de R\$ 26.878,00.

Figura 17 - Geomembrana Drenante



Fonte: Figura fornecida pela empresa A

A camada superior a drenagem é a filtrante, para tal foi considerado uma manta geotêxtil. Este custo foi retirado por completo do SINAPI no item 83739 e está discriminado no Quadro 14, totalizando o custo em R\$ 2.031, 21.

Quadro 14 - Custo Camada Filtrante

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|--------------------|--------------|---|-----------|-------|-------------|-------------|----------------------|
| Não aferida | 83739 | Fornecimento/instalação de manta bidim rt-10 | M² | | Uni | M² | Total [450m²] |
| insumo | 4011 | geotêxtil na o tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 10 kn/m | M2 | 1,08 | 3,72 | 4,02 | 1.807,92 |
| Composição | 88316 | servente com encargos complementares | H | 0,03 | 16,54 | 0,50 | 223,29 |
| Total | | | | | | | 2.031,21 |

Fonte: Adaptado do SINAPI (2019)

Como demonstrado no item 4.1, a cobertura vegetada que obteve menor consumo energético com resfriamento tem 10 cm de espessura em sua camada de substrato vegetal, camada que fica acima da filtrante. Para orçar seu valor foi feita uma adaptação no SINAPI. O caderno de preços de insumos 04/2019 contém o item “Terra Vegetal (granel) ” que corresponde ao número 7253 e tem seu valor ofertado

por m³. Seu coeficiente foi calculado verificando quanto de terra iria por m² para esta espessura, ou seja, 0,1 m³ de terra por m². Para o valor da mão de obra foi escolhido o item 85422 que diz respeito ao preparo manual de terreno. A adaptação da composição está demonstrada no Quadro 15 abaixo e tem como valor total R\$ 8.087,85.

Quadro 15 - Custo Camada Substrato Vegetal

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|--------------------------|--------------|--|----------------------|-------|-------------|----------------------|---------------------------------|
| Não aferida | 85422 | Preparo manual de terreno s/ raspagem superficial | M² | | Uni | M² | Total [450M²] |
| composição | 88316 | servente com encargos complementares | H | 0,4 | 16,54 | 6,62 | 2.977,2 |
| insumo (fora composição) | 7253 | terra vegetal (granel) | M3 | 0,1 | 113,57 | 11,36 | 5.110,65 |
| Total | | | | | | | 8.087,85 |

Fonte: Adaptado do SINAPI (2019)

A última camada do sistema é a própria vegetação, esta composição foi retirada do item 98505 que está no caderno de paisagismo do SINAPI. Seu orçamento está representado no Quadro 16 e resulta num valor total de R\$ 15.580,84.

Quadro 16 - Custo Camada Vegetação

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|----------------------------|--------------|---|----------------------|--------|-------------|----------------------|---------------------------------|
| 02,urba,pais,003/01 | 98505 | Plantio de forração, af_05/2018 | M² | | Uni | M² | Total [450M²] |
| insumo | 360 | muda de rasteira/forracao, amendoim rasteiro/onze horas/azulzinha/impatiens ou equivalente da regio | UN | 25.00 | 1,2 | 30,00 | 13.500,00 |
| composição | 88316 | servente com encargos complementares | H | 0,211 | 16,54 | 3,49 | 1.570,47 |
| composição | 88441 | jardineiro com encargos complementares | H | 0,0528 | 21,48 | 1,13 | 510,36 |
| Total | | | | | | | 15.580,84 |

Fonte: Adaptado do SINAPI (2019)

O custo total com a instalação do sistema de cobertura vegetada foi de R\$ 83.539,59, sendo que R\$ 64.650,11, ou seja, 77%, corresponde a materiais e R\$ 18.849,48, 23%, são a parte de mão de obra. Obteve-se um orçamento final proporcionalmente compatível com a empresa B e o valor por m² foi de R\$ 185,64. Nas pesquisas feitas com as empresas a manutenção foi recomendada uma vez ao ano e somente com o intuito de averiguação e retirada de alguma vegetação invasora, seu custo foi retirado do SINAPI no item 98519 e está demonstrado no Quadro 17.

Quadro 17 - Custo Manutenção da Cobertura Vegetada

| Classe/Tipo | Código | Descrição | Un. | Coef. | Preço [R\$] | Preço [R\$] | Preço [R\$] |
|----------------------------|--------------|--|----------------------|--------|-------------|----------------------|---------------------------------|
| 02,urba,pais,017/01 | 98519 | Revolvimento e limpeza manual de solo, af_05/2018 | M² | | Uni | M² | Total [450M²] |
| Composição | 88316 | servente com encargos complementares | H | 0,0759 | 16,54 | 1,25 | 564,92 |
| Composição | 88441 | jardineiro com encargos complementares | H | 0,019 | 21,48 | 0,41 | 183,65 |
| Total | | | | | | | 748,58 |

Fonte: Adaptado do SINAPI (2019)

4.2.2 Comparativo Econômico

Após o término do levantamento de custos das coberturas e custos com energia elétrica e através da organização dos custos em custo iniciais (C.I.), que contemplam os materiais e instalação, custos de manutenção (C.M.), e do valor economizado com energia (E.E.) foi elaborado o fluxo de caixa, cujos valores estão expressos no Quadro 18.

Quadro 18 - Valores Fluxo de Caixa

| | Vegetada | Fibrocimento | Fluxo de Caixa |
|----------------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| Custos Iniciais | (83.539,59) | 30.177,88 | (53.361,70) |
| Custo de Manutenção | (748,58) | 670,05 | (78,52) |
| Economia de Energia | 2.093,13 | | 2.093,13 |

Fonte: Elaborado pela autora

Os valores do Quadro 18 estão expressos em Reais, sendo R\$ 53.361,70 a diferença entre o custo de instalação da cobertura vegetada e de fibrocimento, onde

entra no fluxo de caixa na data zero pois é o desembolso inicial. Para os fluxos de caixas anuais o saldo com manutenção é negativo pois a manutenção com cobertura vegetada é superior à de fibrocimento, então, para os fluxos de caixa anuais o resultado será o valor de economia com energia menos a diferença da manutenção, o que resultou em R\$ 2.014,61. O tempo considerado para este estudo foi o prazo de vida útil da cobertura vegetada. Primeiramente foi calculada a taxa interna de retorno (TIR), taxa que torna o VPL nulo, a taxa encontrada foi de -15%, ou seja, a soma dos fluxos de caixa futuros, no período de 10 anos, foi inferior ao investimento inicial. O cálculo do VPL está demonstrado no Quadro 19, onde desconta-se ano a ano o valor do fluxo de caixa anual pela taxa mínima de atratividade. O VPL também resultou em um valor negativo, ou seja, o investimento não será recuperado no tempo necessário. No décimo ano o valor presente líquido continua negativo em R\$ 38.651,19, ou seja, se optar por este investimento, ao final da vida útil da cobertura vegetada, este investimento terá poupado, através da conta de energia elétrica, um valor de R\$14.710,52 trazidos a valor presente.

Quadro 19 - Fluxo de Caixa Descontado

| Ano | Fluxo de Caixa | Valor Presente | Valor Presente Líquido |
|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 0 | -53.361,72 | -53.361,72 | -53.361,72 |
| 1 | 2.014,61 | 1.897,57 | -51.464,15 |
| 2 | 2.014,61 | 1.787,33 | -49.676,82 |
| 3 | 2.014,61 | 1.683,50 | -47.993,32 |
| 4 | 2.014,61 | 1.585,69 | -46.407,63 |
| 5 | 2.014,61 | 1.493,57 | -44.914,05 |
| 6 | 2.014,61 | 1.406,80 | -43.507,25 |
| 7 | 2.014,61 | 1.325,08 | -42.182,17 |
| 8 | 2.014,61 | 1.248,10 | -40.934,07 |
| 9 | 2.014,61 | 1.175,59 | -39.758,48 |
| 10 | 2.014,61 | 1.107,29 | -38.651,19 |

Fonte: Elaborado pela autora

Não foi possível calcular o *payback* descontado, pois o investimento não irá ter fluxos positivos no valor suficiente para deixar o VPL zerado. Fazendo o *payback* simples, ou seja, dividindo o desembolso inicial pelo valor do fluxo positivo anual chega-se em um *payback* de aproximadamente 27 anos. Calculando o fluxo de

caixa descontado até esta data ainda tem-se um VPL negativo, no ano 27 seu VPL será negativo em R\$ 27.188,51.

Após as comparações para obtenção dos resultados propostos os custos com as coberturas foram indexados ao custo básico por metro quadrado fornecido pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil - SINDUSCON a fim de neutralizar os efeitos da inflação e permitir a utilização dos dados da pesquisa para futuras comparações. O CUB/m² - comercial médio com dados do mês de abril de 2019, no valor de R\$ 2.014,77 foi utilizado para a indexação e os resultados seguem no Quadro 20.

Quadro 20 – Custos das Coberturas em CUB/m²

| | Vegetada | Fibrocimento |
|----------------------------|-----------------|---------------------|
| Custos Iniciais | (0,09214) | 0,03329 |
| Custo de Manutenção | (0,00083) | 0,00074 |

Fonte: Elaborado pela autora

Através da utilização do método do fluxo de caixa descontado, como os fluxos anuais são de igual valor, é possível calcular inversamente e descobrir o valor necessário de economia de energia para zerar o VPL, deste modo, permite-se uma futura comparação com simulações de outros modelos, os quais podem variar características de outros materiais de envoltória, de área da cobertura e formas. Este valor foi calculado através da Equação 2, onde o valor do investimento, em CUBs, foi de 0,059, o que resultou em um fluxo anual necessário de 0,0081, aproximadamente 13,7% do desembolso inicial, porém, devido ao custo de manutenção o valor economizado com energia elétrica teria que ser de 0,00815 CUBs.

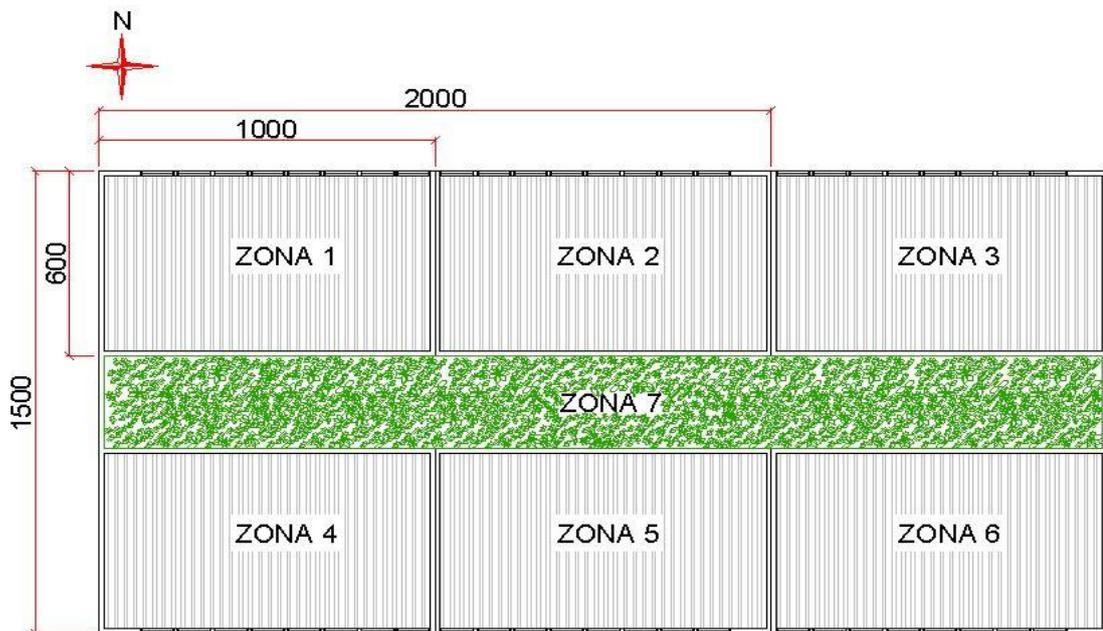
4.3 Casos Complementares

Após a análise das simulações e da análise econômica verificou-se que a cobertura vegetada não teve seu capital recuperado por meio da economia com energia elétrica de resfriamento. Através da análise da carga térmica necessária para resfriamento observou-se que a porcentagem de diminuição de carga entre as zonas era diferente e que isto poderia impactar no resultado econômico da comparação,

decidiu-se então fazer duas novas simulações. Elas mantiveram todas as características comuns e somente as coberturas foram modificadas.

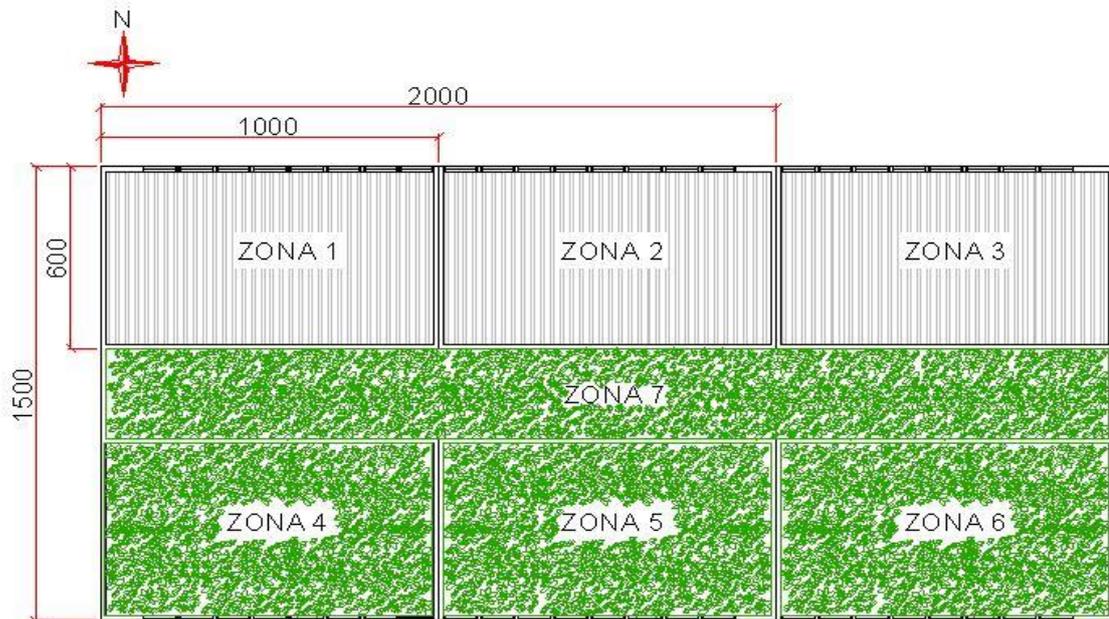
Na situação A, conforme Figura 18, a simulação foi executada com cobertura de fibrocimento nas zonas 1, 2, 3, 4, 5 e 6, que representam as salas, e na zona 7, central, foi utilizada cobertura vegetada. Na situação B, segundo Figura 19, nas zonas 1, 2 e 3, salas com fachada norte, foram utilizadas coberturas de fibrocimento, e nas zonas 4, 5, 6 e 7, cobertura vegetada.

Figura 18 - Situação A



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 19 - Situação B



Fonte: Elaborada pela autora

As novas propostas de modelos simulados foram comparadas com o modelo padrão de fibrocimento, onde os valores encontrados com o consumo de energia para resfriamento foram comparados com o valor encontrado no modelo padrão, R\$ 24.146,41. A partir das informações no Quadro 20, foram feitas as comparações econômicas referente as duas novas situações propostas, bem como foram utilizadas a mesma TMA e o mesmo tempo limitante para o cálculo do VPL. A representação da sequência de informações e cálculos estão no Quadro 21 e Quadro 22.

Quadro 21 – Comparativo Custos Situação A e B

| Proposta | Área Vegetada [m ²] | Desembolso Inicial [CUB] | Desembolso Inicial [R\$] | Custo Manutenção [CUB] | Custo manutenção [R\$] |
|------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Situação A | 90 | -5,29705 | -10.672,34 | -0,00779 | -15,70 |
| Situação B | 270 | -15,89116 | -32.017,03 | -0,02338 | -47,11 |

Fonte: Elaborada pela autora

Quadro 22 - Comparativo Econômico Situação A e B

| Proposta | Consumo Energia [R\$] | Economia de Energia [R\$] | Fluxo de Caixa Anual [R\$] | VPL [R\$] | TIR |
|-----------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|------------|
| Situação A | 23.208,98 | 937,43 | 921,73 | -3.941,97 | -2,58% |
| Situação B | 22.548,55 | 1597,86 | 1550,75 | -20.693,59 | -11,39% |

Fonte: Elaborada pela autora

A economia de energia, quando comparada com o padrão, foi totalmente atribuída a área em que a cobertura vegetada foi utilizada. O valor do CUB foi o mesmo utilizado para indexação, R\$ 2.014,77. O VPL continuou com resultado negativo nas duas situações, porém, a TIR, taxa que pode ser utilizada para comparar retorno entre investimentos teve um aumento em ambos os casos, o que representa uma otimização do sistema.

5 CONCLUSÃO

O sistema construtivo de uma edificação é associado diretamente ao seu desempenho térmico. A cobertura é a parte da envoltória que está mais exposta à radiação solar direta, este fator tem forte influência sobre a transferência de calor aos ambientes internos, principalmente ao pavimento em que se encontra. O crescimento do consumo energético é uma preocupação que atinge a sociedade e com isso as tecnologias de construção sustentáveis estão ganhando espaço no mercado por uma questão de necessidade. A cobertura vegetada é uma opção disponível que auxilia o desempenho térmico da edificação além de melhorar em diferentes aspectos seu entorno.

Este trabalho buscou comparar, sob enfoque econômico, o uso de uma cobertura vegetada com uma cobertura de fibrocimento em um edifício de uso educacional público em Florianópolis. O trabalho propôs analisar 10 modelos, sendo uma cobertura padrão e nove vegetadas, através da simulação computacional pelo software *EnergyPlus*. Para chegar ao comparativo foi elaborado um modelo do último pavimento de uma instituição educacional e determinado seu tipo de uso, bem como as cargas internas consideradas no estudo.

Através dos resultados e análises das simulações observou-se, que em um dia de verão não letivo, ou seja, que não havia uso do ar condicionado e nem carga térmica interna, a cobertura vegetada teve redução de até 10,5°C quando comparada à cobertura com fibrocimento. No inverno ocorre o inverso, a temperatura interna do ambiente com a cobertura vegetada ficou 4,9°C acima do ambiente com cobertura de fibrocimento, aproximando o ambiente interno deste tipo de cobertura à temperatura de conforto térmico.

Quando se comparou as temperaturas entre as zonas térmicas, observou-se que as mais elevadas estão nas salas da fachada norte. Através das análises das cargas térmicas necessárias para resfriamento constatou-se que dependendo da orientação solar da zona, bem como da carga interna gerada a cobertura vegetada terá uma porcentagem diferente de redução da carga interna de resfriamento na comparação com a fibrocimento. A zona central teve uma redução na carga térmica de resfriamento de 25,7%, seguida pelas zonas com fachadas orientadas a sul com redução entre 4,0% e 4,5%. Enquanto que nas zonas a norte a redução variou de

2,0% a 2,8%. A redução do consumo de energia elétrica do uso da cobertura vegetada com a de fibrocimento foi de 6,8% enquanto que a redução financeira foi de 8,7%, esta diferença ocorreu devido ao horário de ponta e fora de ponta terem custos distintos.

Os custos de uma cobertura vegetada são quase o triplo de uma cobertura padrão. O valor de economia encontrado neste trabalho devido a redução do consumo de energia de ar condicionado não foi suficiente para recuperar o investimento na cobertura vegetada, pois a TIR encontrada deste investimento foi de -15%. Com a TMA e o tempo de retorno propostos no estudo, o valor do fluxo anual para que o investimento retornasse por inteiro teria que ser de aproximadamente 13,7% da diferença entre os custos iniciais das coberturas. Neste caso, supondo que fosse possível reduzir o custo da cobertura vegetada ele teria que ser 46,27% menor do que o encontrado.

O estudo através da simulação térmica auxiliou na interpretação do comportamento da cobertura e permitiu que sua utilização fosse otimizada, sendo assim foi proposto a comparação econômica de duas situações híbridas, conforme item 4.3. A situação A, onde somente a parte central da cobertura foi composta por cobertura vegetada, demonstrada na Figura 18, teve sua TIR igual a -2,58% enquanto que na situação B, onde a cobertura vegetada está presente na zona central e nas salas com fachada sul, conforme Figura 19, a TIR foi de -11,39%. Nos dois casos a TIR ainda permanece negativa, ou seja, seu investimento não foi recuperado, porém obteve-se uma melhora nos resultados quando comparado com a cobertura inteiramente vegetada. Numa situação hipotética do mercado da construção civil, onde ocorresse a redução do preço de uma cobertura vegetada em 23,53%, seria possível, no tempo previsto, recuperar o investimento na situação A (cobertura vegetada na parte central da edificação).

Para a situação atual, a cobertura vegetada não é viável economicamente, porém esta tem inúmeros benefícios que são difíceis de mensurar financeiramente. Além de melhora no desempenho térmico do ambiente interno ela melhora o desempenho acústico, diminui o escoamento superficial de águas pluviais, diminui o efeito de ilhas de calor, aumenta a eficiência de painéis solares (quando colocados sobre a cobertura vegetada) e pode estender a durabilidade da manta de impermeabilização. Possui benefícios como melhora da qualidade do ar, o contato

com a vegetação pode auxiliar na saúde física e mental do ser humano além de colaborar com a preservação da biodiversidade por espécies que o utilizam como espaço de vivência ou corredor ecológico.

Sendo assim, por não se tratar de uma tecnologia cuja finalidade é somente de vantagem financeira, e assim optar-se conscientemente por esse investimento com intuito de promover uma redução no consumo energético e proporcionar outros benefícios sociais e ambientais, seu estudo prévio pode otimizar economicamente este investimento.

5.1 Sugestão para Trabalhos Futuros

Devido a diferença do percentual de redução da carga térmica ser inferior nas zonas com fachada ao norte, sugere-se simulações com brises nesta orientação. Para avaliar se melhora, e quanto, o desempenho térmico dos ambientes com cobertura vegetada e fachada norte devido a redução da incidência de radiação solar direta na vedação vertical.

O uso da ventilação mecânica noturna também é uma sugestão para ser incluída nas análises e nas simulações. Isto porque o comportamento térmico das coberturas vegetadas pode ser aprimorado com as trocas por convecção noturna num ambiente sem ocupação.

Outros tipos de coberturas convencionais irão proporcionar resultados distintos quanto ao desempenho térmico e possuem custos diferentes. Sugere-se a mesma proposta de comparação entre outros tipos de cobertura.

5.2 Limitações do Trabalho

Este trabalho apresenta algumas limitações a serem consideradas. Os estudos tiveram seu uso de ocupação limitado a uso educacional (aulas, manhã, tarde e noite), em período do ano letivo, com carga interna específica, para o clima de Florianópolis. A cobertura vegetada foi do tipo extensiva, quando existem outras variações. A comparação foi feita entre a cobertura vegetada e a cobertura de fibrocimento, outros tipos de cobertura poderiam ser utilizados. Nos custos não foram considerados os valores de calhas, rufos e tubulação pluvial por entender que as duas

coberturas os possuem em seu sistema e o modelo proposto foi simplificado, porém, para um projeto finalizado é indicada sua contabilização.

A taxa mínima de atratividade foi fixada em 0,5% a.m., onde se considerou o máximo de rendimento fornecido pela poupança, porém, se considerada a taxa real de juros, onde este rendimento equivale a 70% da taxa Selic (quando esta for inferior a 8,5% a.a.) a TMA será menor e impactará no resultado do fluxo de caixa descontado. Outro parâmetro que tem influência direta na análise econômica é o tempo de vida útil da impermeabilização, este valor foi fixado com base na NBR 15.1575, porém, a cobertura vegetada pode aumentar a durabilidade da manta e com isso os resultados finais iriam se alterar.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220-2:** Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005^a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-5:** Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2:** Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. **O desafio da Sustentabilidade na Construção Civil.** São Paulo: Blucher, 2011.

AMORIM, M.C.C.T. Ilhas de Calor em Barigui. **Revista Brasileira de Climatologia.** São Paulo: 2005.

ANEEL. **Postos Tarifários.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/postos-tarifarios>> Acesso: 25 abr. 2019.

BCB. **Remuneração dos Depósitos da poupança.** Disponível em: <<https://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

BAETA, André Pachioni. **Orçamento e Controle de Preços de Obras Públicas.** São Paulo: Pini, 2012.

BATISTA, Juliana Oliveira. **Eficácia Da Ventilação Mecânica Noturna Para Resfriamento: Impacto De Estratégias Híbridas De Ventilação No Desempenho Térmico De Residência Em Florianópolis-Sc.** 2011. 286 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BALANÇO ENERGÉTICO ANUAL, 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 3 set. 2018.

BORDEAUX-RÊGO, Ricardo et al. **Viabilidade Econômico-Financeira de Projetos.** Rio de Janeiro: FGV, 2010.

BRASIL. Instrução Normativa 02, de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações

públicas federais novas ou que recebam retrofit. Disponível em: <<https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>>. Acesso em: 3 set. 2018.

BRASIL. Lei Complementar 60, de 28 de agosto de 2000. Dispõe sobre o Código de Obras de Florianópolis. Disponível em: < <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-florianopolis-sc>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

Brasil. Lei 18.112, De 12 De Janeiro De 2015. Dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade de instalação do "telhado verde", e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. Disponível em: < http://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-18112-2015-recife_280138.html>. Acesso em: 2 set. 2018.

BUILDING, Climate One. **Arquivo Precipitação Florianópolis**. Disponível em: <http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html>. Acesso em: 07 abr. 2019.

CAPOZZOLI A.; GORRINO A.; CORRADO V. Thermal characterization of green roofs through dynamic simulation 3th Conference of International Building Performance Simulation. **Proceedings**... França. 2013.

CELESC. **Tarifas**. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa?fbclid=IwAR1kd-TBXjHuiqqor8eQ-yX2CHfpeqGaqEHWexNM2eQr4ehtlVwqcc9pcto>> Acesso em: 27 abr. 2019.

COSTA, Angélica Felicidade Guião Marcato; PASCHOALIN FILHO, João Alexandre; LEITE, Brenda Chaves Coelho. Desempenho térmico de módulos executados em Light Steel Frame com cobertura verde e com telhas de fibrocimento. **Anais do VI SINGEP**, São Paulo, nov. 2017.

COSTA, Luan Maximiano de Oliveira da; LIMA, Frederico Romagnoli Silveira. ECONOMIA DE ENERGIA COM AR CONDICIONADO PROPORCIONADA POR TELHADOS VERDES E REFLETIVOS EM DIFERENTES CLIMAS DO BRASIL. **Encac**: ELACAC, Balneário Camboriu, p.1547-1556, set. 2017.

DECAGON DEVICES. **LAI: theory and practice**. v. 1.0. Pullman, WA. 2014.

DIAS, Adriano Ethur. **O Desempenho Térmico De Uma Coberturas Verde Em Simulações Computacionais Em Três Cidades Brasileiras Adriano Ethur Dias**. 2016. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

EBC. **Termelétricas entram em operação com a chegada da seca**. 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-07/termeltricas-entram-em-operacao-com-chegada-da-seca>>. Acesso em: 17 set. 2018.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S. A., PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de Uso** - Ano base 2005 – Casse Comercial – Instituições de Ensino – Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2007.

FERRAZ, I. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional de cobertura com telha cerâmica**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2012.

FREZATTI, Fábio. **Gestão da Viabilidade Econômico-Financeira dos Projetos de Investimento**. São Paulo: Atlas, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. Rio de Janeiro: Ltc, 2013.

IBGE. **Mapa de clima do Brasil**, 2002.

IN – INSTRUÇÃO NORMATIVA. IN 009: Sistema de Saídas de Emergência. Santa Catarina, 2014.

INMETRO. **Tabela de eficiência energética**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores_ar_split_hiwall_indicenovo.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2010.

IPEA. **Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília: Governo Federal, 2010. 640 p.

KLEIN, Lais de Bortoli. **Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial em diferentes tipos de cobertura**. 2017. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

KOGAN, Marcio. **Grande telhado verde é destaque em uma casa em São Paulo**. 2018. Disponível em: <<https://sustentarqui.com.br/grande-telhado-verde-casa-plana-sp>>. Acesso em: 7 nov. 2018.

KOKOGIANNAKIS, Georgios; TIETJE, Annegret; DARKWA, Jo. The role of Green Roofs on Reducing Heating and Cooling Loads: A Database across Chinese Climates. **Procedia Environmental Sciences**, [s.l.], v. 11, p.604-610, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.094>.

KWOK, Alison G.; GRONDZIK, Walter T. **Manual de Arquitetura Ecológica**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição Florianópolis: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LIZ, Débora Gracielle Stiegemeier de. **Análise Experimental Do Comportamento Térmico Do Telhado Verde Extensivo Para Florianópolis**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LOHMANN, Alberto. **Desempenho Higrotérmico De Cobertura Vegetal Inclinada Em Dois Protótipos Construídos Na Região De Florianópolis**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MACHADO, André Fogolin et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para o século XXI. **Synergismus Scyentifica Utfpr**: Synergismus scyent i f ica UTFPR, Pato Branco, v. 12, n. 1, p.176-182, nov. 2017.

MARTINS F. D. P. **Coberturas Verdes - Seu contributo para a eficiência energética e sustentabilidade**. Dissertação de Mestrado. Universidade da Beira Interior. Covilhã - Portugal, 2010.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. Uso de Instrumentos Computacionais Para Análise do Desempenho Térmico e Energético de Edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.

MINGUET, Josep María. **The New Ecological Home**: Materials for bioclimatic design. Barcelona: Monsa, 2016. 143 p.

MINKE, Gernot. **TECHOS VERDES: PLANIFICACIÓN, EJECUCIÓN, CONSEJOS PRÁCTICOS**. Montevideo: Fin de Siglo, 2004.

MONTANARI, Ketlin Bruna; LABAKI, Lucila Chebel. Comportamento térmico de ambientes internos sob a influência de envoltórias verdes. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 3, p. 181-193, set. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650241>>. Acesso em: 20 jan. 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i3.8650241>

OBERNDORFER, E. et al. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. **Bioscience**, v. 57, n.10, p.823-833, 2007. Oxford University Press (OUP). DOI:10.1641/b571005.

OMS. **9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action**. Disponível em < <http://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>> Acesso em: 2 set. 2018

ONU. **Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos**. Disponível em < <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>> Acesso em: 3 set. 2018.

ONU. **População mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes.** Disponível em <<https://news.un.org/pt/story/2017/06/1589091-populacao-mundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes>> Acesso em: 2 set. 2018

PAPST, Ana Lúcia. **Uso De Inércia Térmica No Clima Subtropical Estudo De Caso Em Florianópolis – SC.** 1999. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

PARIZOTTO FILHO, S. **Telhado vegetado.** In: Lamberts, R. et al (ed.). Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. p. 89-122.

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.

PEREIRA, M. F. B. **Conteúdo energético e emissões de co2 em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento: estudo de caso.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2014.

PROCEL. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica.** Rio de Janeiro: Eletrobras, 2011.

PROJETEE. **Componentes construtivos.** Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/#pisos-e-coberturas>>. Acesso em: 10 out. 2018.

RANGEL, Ana Celecina Lucena da Costa; ARANHA, Kaline Cunha; SILVA, Maria Cristina Basílio Crispim da. Os telhados verdes nas políticas ambientais como medida indutora para a sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [s.l.], v. 35, p.397-409, 24 dez. 2015. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v35i0.39177>.

RAZZAGHMANESH, Mostafa; BEECHAM, Simon; SALEMI, Telma. The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 15, p.89-102, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.013>.

REFAHI, A. H.; TALKHABI, H. Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. **Renewable Energy**, v. 80, p.595-603, ago. 2015.

SAADATIAN, O. et al. A review of energy aspects of green roofs. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 23, p.155-168, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/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.

SANTOS, Leonildo Rasec Lima dos et al. Telhado Verde: Uma Proposta Sustentável Para A Construção Civil. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, Alagoas, v. 4, n. 2, p.195-206, nov. 2017.

SILVEIRA, Ricardo; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. Avaliação Da Absortância À Radiação Solar E Temperatura Superficial De Telhas De Fibrocimento Utilizadas Nas Coberturas De Edificações Do Campus Da Ufsc. **Entac**, Florianópolis, p.1166-1170, out. 1012.

SYDNEY. **Green Roofs and Walls Policy Implementation Plan**. Council, 2014.

SINAPI, **Insumos e Composições**. Disponível em: < <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/insumos-composicoes/Paginas/default.aspx>> Acesso em: 10 maio 2019.

SINDUSCON. **CUB/M² - COMERCIAL MÉDIO**. Disponível em: <<http://sindusconfpolis.org.br/index.asp?dep=144&nomeDep=cubm%B2-comercial-medio>>. Acesso em: 20 maio 2019.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

VECCHIA, F. Cobertura verde leve (CVL): Ensaio experimental. **Anais ENCAC**. Maceió. 2005.

YU, Chen. **The intervention of plants in the conflicts between buildings and climate**. 2006. 315 f. Tese (Doutorado) - Curso de Philosophy, Department Of Buildings National University Of Singapore, Sinagpore, 2006.