



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



MARIA EDUARDA INACIO ANDRÉ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL COM O USO DE
FERRAMENTAS BIM

Uberlândia

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

MARIA EDUARDA INACIO ANDRÉ

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL COM O USO DE
FERRAMENTAS BIM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Civil. Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Fernandes Maciel.

Uberlândia

2019

MARIA EDUARDA INACIO ANDRÉ

ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL COM O USO DE FERRAMENTAS BIM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Civil.

Profª. Dra. Ana Carolina Fernandes Maciel
Presidente da banca - Orientadora

Profª. Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão
Membro

Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres
Membro

Prof. Dr. André Luiz de Araújo
Membro

Aluna Maria Eduarda Inacio André
Orientanda

Uberlândia

2019

RESUMO

Os impactos ambientais chegaram a tal nível, devido ao uso descontrolado dos recursos energéticos, que surgiu a necessidade de análise da eficiência energética das edificações. Essa análise envolve vários parâmetros ressaltados neste trabalho; o qual tem por objetivo a garantia de condições de desempenho térmico favorável no interior das edificações. Como estudo de caso, para analisar a eficiência energética diferentes cenários de alvenaria e telhamento, foi efetuado um projeto de uma residência unifamiliar no *software* Revit e inseridos todos os dados climáticos e índices importantes para o cálculo energético. Para os cálculos de consumo energético de cada cenário, foi utilizado o *Green Building Studio*, de mesma desenvolvedora, o que facilita a interoperabilidade no intercâmbio de informações entre programas BIM (Modelagem da Informação da Construção), que é um conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento e BES, programa de Simulação Energética da Construção. Através dos resultados encontrados foi possível verificar que, dentre os cenários analisados, os mais apropriados para o clima de São Carlos são aqueles com parede externa de maior espessura e de material cerâmico, e os que não possuem muita vantagem ou não deveriam ser utilizados para o clima estudado, são os que apresentam material de grande inércia térmica, como o concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas Bioclimáticas.....	5
Figura 2 - Características necessárias para softwares de avaliação do desempenho térmico	6
Figura 3 - Ilustração de trocas de calor através de paredes opacas.....	13
Figura 4 - Ilustração de trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas.....	11
Figura 5 - Projeto arquitetônico.....	25
Figura 6 - Projeto da casa.....	14
Figura 7 - Elevação frontal do projeto.....	14
Figura 8 - Caminho do sol	15
Figura 9 - Componentes térmicos da porta.....	17
Figura 10 - Componentes e dados térmicos do telhado.....	27
Figura 11 - Zonas analisadas	28
Figura 12 - Zona 4 analisada definida no Revit.....	29
Figura 13 - Localização do software pós exportação.....	32
Figura 14 - Componentes da parede pós exportação	33
Figura 15 - Estações meteorológicas na região de São Carlos	35
Figura 16 - Localização da estação meteorológica de São Carlos.....	35
Figura 17 - Estação meteorológica definida	36
Figura 18 - Parede do cenário 1.....	30
Figura 19 - Parede do cenário 4.....	30
Figura 20 - Parede do cenário 6.....	30
Figura 21 - Parede do cenário 7.....	31
Figura 22 - Parede do cenário 8.....	31
Figura 22 - Relatório da suíte 1	33
Figura 24 - Relatório da sala	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão.....	7
Tabela 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	8
Tabela 3 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)	9
Tabela 4 - Condutividade térmica	10
Tabela 5 - Zonas de cidades de São Paulo.....	15
Tabela 6 - Estratégia Bioclimática	15
Tabela 7 - Diretrizes construtivas da zona 4.....	15
Tabela 8 - Propriedade térmica dos materiais	18
Tabela 9 - Comparação das propriedades do concreto das análises	19
Tabela 10 - Composição dos elementos das análises	19
Tabela 11 - Variação de temperatura para cálculos por hora de energia para aquecimento e resfriamento	29
Tabela 12 - Valores padrão para temperaturas operativas no inverno/verão para edificações com sistemas de resfriamento e aquecimento	30
Tabela 13 - Dados da agenda de ocupação.....	30
Tabela 14 – Comparativo das temperaturas do INMET e GBS	31
Tabela 15 – Cenários Analisados	31
Tabela 16 – Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 9 cm	42
Tabela 17 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 14 cm.....	43
Tabela 18 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos externa de 14 cm e interna 9 cm.....	44
Tabela 19 – Resultados de Parede de bloco de concreto	22
Tabela 20 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm	45
Tabela 21 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico deitado - 20 cm	46
Tabela 22 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos 9 cm dupla à oeste e leste	46
Tabela 23 - Resultado de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm dupla à oeste e leste	47
Tabela 24 – Comparativo da telha cerâmica e da telha de concreto.....	54
Tabela 25 – Resultados de Parede de bloco maciço deitado 20 cm externo e interno bloco cerâmico 8 furos 9 cm	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação das temperaturas máximas e mínimas do INMET e GBS (2006).....	37
Gráfico 2 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 9 cm.....	43
Gráfico 3 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 14 cm.....	43
Gráfico 4 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos externa de 14 cm e interna 9 cm	43
Gráfico 5 - Resultados de Parede de bloco de concreto	45
Gráfico 6 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm	38
Gráfico 7 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico deitado - 20 cm.....	46
Gráfico 8 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos 9 cm dupla à oeste e leste.....	47
Gráfico 9 - Resultado de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm dupla à oeste e leste.....	47
Gráfico 10 - Resultados dos cenários em relação à suíte máster	49
Gráfico 11 - Resultados dos cenários em relação à suíte à leste.....	50
Gráfico 12 - Resultados dos cenários em relação à suíte à oeste.....	51
Gráfico 13 - Resultados dos cenários em relação à sala	52
Gráfico 14 – Resultados das diferentes telhas na suíte máster	54
Gráfico 15 – Resultado das diferentes telhas na suíte à leste	48
Gráfico 16 - Resultado das diferentes telhas na suíte à oeste	48
Gráfico 17 - Resultado das diferentes telhas na sala	49
Gráfico 18 - Resultados de Parede de bloco maciço deitado 20 cm externo e interno bloco cerâmico 8 furos 9 cm	57
Gráfico 19 - Melhores cenários na suíte máster	51
Gráfico 20 - Melhores cenários na suíte à leste.....	52
Gráfico 21 - Melhores cenários na suíte à oeste	59
Gráfico 22 - Melhores cenários na sala	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Normas Para Desempenho Térmico	4
2.2 Índices.....	8
2.2.1 Absortividade e Emissividade.....	9
2.2.2 Condutividade Térmica.....	10
2.2.3 Inércia Térmica.....	11
3 METODOLOGIA	13
3.1 O Projeto	13
3.2 Componentes Construtivos.....	17
3.3 DesignBuilder.....	23
3.3.1 Exportando do Revit para o Designbuilder	23
3.4 Green Building Studio (GBS)	25
3.4.1 Dados Climáticos.....	26
3.5 Cenários Analisados	29
4 RESULTADOS.....	33
4.1 Análise entre os ambientes.....	34
4.2 Análise entre os cenários.....	41
4.3 Análise dos diferentes tipos de telha	46
4.4 Melhores resultados e novo cenário	49
5 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

O aumento por soluções arquitetônicas energeticamente mais eficientes e adequadas em relação ao clima demonstram a preocupação com o desempenho térmico nas edificações e, conseqüentemente, com a eficiência energética desses.

De acordo com Lamberts (2014), eficiência energética pode ser entendida como um atributo ligado à edificação que representa seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Segundo Sá e Oliveira (2015), os impactos ambientais gerados pelo uso descontrolado dos recursos energéticos fizeram com que surgisse a necessidade da análise de eficiência energética de uma edificação, a partir de projetos que atendem as necessidades dos usuários por meio do aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, reduzindo impactos ambientais e gastos energéticos da edificação.

Uma forma de avaliar esse desempenho é pensando na edificação antes da execução, em sua fase de projeto, buscando a melhor forma de funcionamento dos elementos que irão influenciar o desempenho térmico e energético. Desse modo, buscam-se as melhores alternativas para garantir o bem estar de seus usuários e a economia de recursos energéticos levando em consideração o clima da região em que a edificação será inserida.

Segundo Sorgato, Melo e Lamberts (2014), apesar de os métodos simplificados para avaliação do desempenho térmico fornecerem ferramenta rápida para a avaliação do desempenho térmico da edificação, podem compreender uma incerteza considerável em seus resultados, chegando a comprometer o processo de análise da edificação em questão. Assim, mesmo que programas de simulação energética para avaliação do desempenho térmico exijam conhecimento mais amplo e complexo, esse método permite que o efeito de cada fator interveniente na análise seja verificado isoladamente. Nesse trabalho, o principal fator a ser analisado é o consumo energético de diferentes composições de paredes externas e internas, e diferentes telhamentos.

Esse trabalho foi dividido em revisão bibliográfica, metodologia, resultados e conclusão. Na primeira parte tem-se uma breve discussão introduzindo o assunto, explicando o que é desempenho, quais índices serão importantes para este trabalho e como são analisados segundo a norma. Na metodologia, é feito o desenvolvimento do trabalho, descrevendo os problemas encontrados, todas as etapas necessárias para as simulações realizadas, as considerações feitas e quais os cenários simulados para a avaliação do desempenho energético. Nos resultados são mostrados, por meio de gráficos, as melhores opções de construção. Por fim, a conclusão do trabalho, levando em consideração as simulações mostradas na metodologia, e justificada por meio dos resultados apresentados.

1.2 Objetivo

O principal objetivo desse trabalho é a realização de um estudo de eficiência energética, através de um modelo, com base em um projeto arquitetônico residencial unifamiliar para verificar alternativas comparar o desempenho energético de diferentes tipos de alvenaria e cobertura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse item fornece a fundamentação teórica sobre o tema do trabalho, abrangendo os tópicos de normas para desempenho térmico, índices, condições climáticas e estratégias bioclimáticas.

Segundo Moura e Mota (2013) o segmento de edificações conta com maiores estudos e tecnologias capazes de proporcionar conforto térmico ao usuário. Isto somado a consciência de redução de consumo energético e melhor aproveitamento de equipamentos evita gastos desnecessários. A preocupação da construção civil deixou de ser somente estética e volta-se agora para soluções na própria edificação que possam fornecer desempenho térmico e redução do consumo de energia.

Muitas edificações apresentam temperaturas internas elevadas no verão e/ou baixas no inverno, proporcionando desconforto térmico aos usuários, por calor e/ou por frio. Nesses casos, verifica-se normalmente má utilização das características climáticas locais na fase de projeto da edificação. O uso favorável da ventilação natural e a seleção adequada de materiais de construção e sistemas construtivos podem determinar que o ambiente construído possua desempenho térmico favorável. (MACIEL, 2013).

Com conhecimento das condições climáticas locais, das trocas de calor e do comportamento térmico dos materiais é possível utilizar a arquitetura para amenizar seus aspectos negativos do microclima local e aproveitar os positivos.

Imprimir a um edifício características que proporcionam resposta térmica ambiental conveniente não implica em acréscimo obrigatório de custo de construção, mas, ao contrário, deve resultar em redução do custo de utilização e de manutenção, além de propiciar condições ambientais internas agradáveis aos ocupantes. (FROTA E SCHIFFER, 2001).

Segundo CBIC (2013), o desempenho térmico depende de várias características do local da obra (como topografia, temperatura, umidade do ar e direção e velocidade do vento), e da edificação, como materiais, número de pavimentos, dimensões dos ambientes, pé

direito e orientação das fachadas. Para avalia-lo é necessário verificar a conformidade das características citadas anteriormente de acordo com a ABNT NBR 15575:2013.

2.1 Normas Para Desempenho Térmico

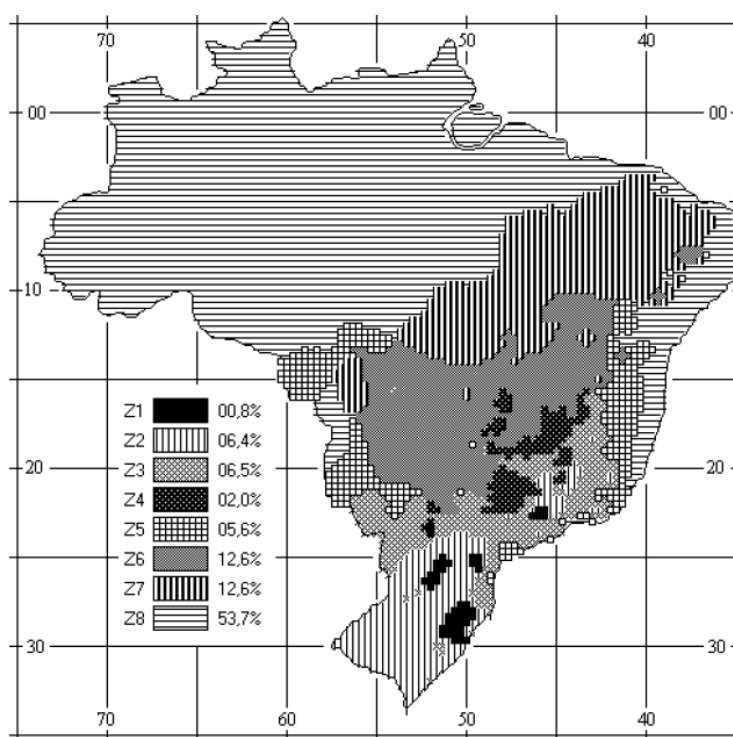
As Normas responsáveis pela avaliação de desempenho térmico em edificações habitacionais brasileiras são: NBR 15575:2013 - Edificações Habitacionais – Desempenho e NBR 15220:2003 - Desempenho Térmico de Edificações.

Essas, de acordo com Lamberts *et al.* (2014) avaliam e regulamentam o setor da construção civil, garantindo padrão mínimo de qualidade e desempenho das edificações residenciais. São importantes para as edificações, pois abrangem desde os ganhos térmicos de superfícies externas até as condições de ventilação do ambiente e permitem identificar os materiais construtivos mais adequados a determinada edificação de acordo com o clima da região que está inserida.

Para a norma NBR 15220:2003, o Brasil é dividido em 8 zonas bioclimáticas (Figura 1), sendo que para cada uma delas são especificadas estratégias bioclimáticas, de modo a garantir melhor desempenho térmico da edificação.

Para cada zona bioclimática brasileira são formuladas diretrizes construtivas e o estabelecimento de estratégias de condicionamento térmico passivo que incluem como parâmetro tamanho das aberturas para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura) e estratégias de condicionamento térmico passivo.

Figura 1 - Zonas Bioclimáticas



Fonte: NBR 15220:2003

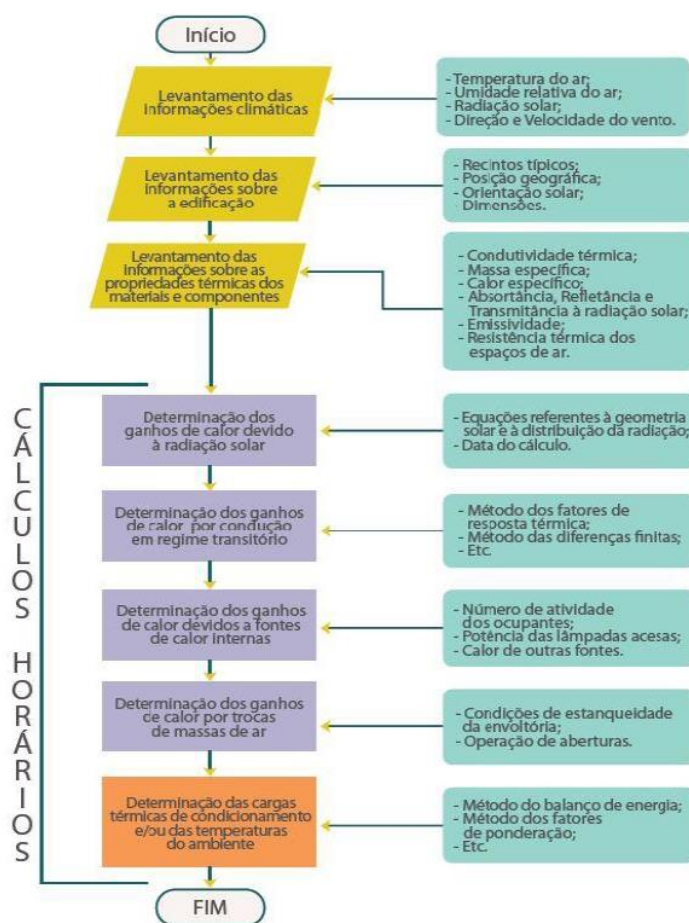
Já a NBR 15575:2013 tem o intuito de avaliar a edificação de forma conjunta, considerando seus componentes e elementos de forma única, a fim de obter resultado satisfatório ao finalizar a construção. A norma está dividida em seis partes: requisitos gerais, estruturas, pisos, vedações verticais, coberturas e sistemas hidrossanitários. O principal foco é obter resultados satisfatórios para o bem-estar do usuário, sendo assim, a edificação deve reunir características que atendam às exigências de desempenho, considerando-se a região de implantação da edificação e as características bioclimáticas (ROMERO E RODRIGUES, 2009).

Para avaliar o desempenho térmico da edificação, como recomendado na norma, existem três procedimentos: procedimento simplificado, procedimento de medição *in loco* e procedimento de simulação. Segundo Lamberts (2014), o procedimento simplificado, além de restrito a apenas algumas fontes de calor e características da edificação, depois de realizado, resultando em desempenho térmico insatisfatório, é necessária nova avaliação da edificação como um todo, pelo método computacional.

Os *softwares* de simulação do comportamento térmico de edificações devem reunir as características básicas indicadas conforme o fluxograma ilustrado na Figura 2 (CBIC, 2013). Logo nas primeiras etapas é sugerido que seja feito um levantamento das informações climáticas e das características da edificação a ser avaliada, abordando aspectos como temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade do vento, posição geográfica, orientação solar e dimensões da edificação. Em seguida, devem ser levantados os dados referentes às propriedades térmicas dos materiais e componentes, como condutividade térmica, refletância e transmitância à radiação solar que são imprescindíveis para a simulação.

Tendo esses parâmetros definidos, são realizados os cálculos por meio das equações e métodos característicos de cada *software*, que tem o objetivo final de determinar as cargas térmicas de condicionamento e/ou as temperaturas do ambiente, que serão necessárias para a conclusão das análises.

Figura 2 - Características necessárias para softwares de avaliação do desempenho térmico



Fonte: CBIC (2013)

Para a geometria do modelo de simulação, deve-se tomar a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica e tomando como pior situação um cômodo na extremidade da habitação com orientação geográfica mais crítica do ponto de vista térmico (NEMER, 2016).

A ABNT NBR 15575-1 estabelece que sejam atendidos dois requisitos para uma unidade habitacional: exigências de desempenho no verão (Tabela 1) e exigências de desempenho no inverno (Tabela 2), deixando estabelecidos os valores máximos e mínimos de temperatura, comparando o ambiente interno e o externo. De acordo CBIC (2013), devem ser analisados no verão a janela do cômodo voltado à oeste e a parede exposta voltada ao norte, sendo que o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada à oeste. Na situação de inverno, a janela do cômodo voltado ao sul e a parede exposta voltada para o leste devem ser analisados, sendo que o ambiente deve ter pelo menos uma janela voltada ao sul. Vale ressaltar que variáveis como orientação do edifício, tipologia da edificação, renovação de ar nos ambientes e dados climáticos influenciam diretamente no comportamento térmico.

De acordo com Lamberts (2010), fatores indiretos como a geração de calor interno advindo de pessoas, computadores e iluminação artificial é menor em residências porque a ocupação é menor do que em um edifício comercial. Assim, os ganhos de calor por meio das superfícies externas (paredes e cobertura) e das aberturas existentes (superfícies envidraçadas), assim como as condições de exposição à insolação e à ventilação são os principais fatores determinantes do desempenho térmico para esse tipo de edificação.

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 10^\circ \text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 4^\circ \text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 20^\circ \text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e,min} + 10^\circ \text{C})$
$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius; $T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius; NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: NBR 15575-1 (2013).

Tabela 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 51)	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ} \text{ C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^{\circ} \text{ C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^{\circ} \text{ C})$	
$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius;		
$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;		
NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.		

Fonte: NBR 15575-1 (2013).

A ABNT NBR 15575-1 (2013) designa que, para realizar as simulações computacionais, para edificações em fase de projeto, devem ser utilizados como referência os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno da cidade. Um dia típico, nela, é definido como um dia real caracterizado pelas seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar incidente em superfície horizontal segundo a média do período dos últimos 10 anos, para o dia mais quente e mais frio do ano, para as análises de desempenho no verão e no inverno, respectivamente.

Sorgato, Melo e Lamberts (2013) afirmam que os parâmetros para os dias típicos podem ser relativos e incompletos, com o risco de serem considerados dias diferentes do arquivo climático, provocando alteração do resultado. Portanto, o modelo deveria considerar os ambientes ocupados, com cargas internas e ter a possibilidade de uma reação ao calor, por exemplo, abrindo janelas.

2.2 Índices

Como Sá e Oliveira (2015) evidenciaram, os elementos que compõem a edificação são de materiais diferentes, então é esperado que apresentem desempenhos diferentes em relação à radiação térmica incidente transmitida, refletida e absorvida. Quando a radiação

incide em um material, essa terá parcelas de refletividade, absortividade e de transmissividade.

2.2.1 Absortividade e Emissividade

Segundo Lamberts *et al.* (2014) com relação à absortividade, que é a capacidade de absorver radiação solar, pode-se destacar sua cor. Assim, um material mais escuro absorve muito mais radiação do que um material com cor clara. Quando a radiação incide no material, aquecendo-o, parte desta radiação é reemitida para fora deste material, isso é a chamada emissividade (ϵ), ou seja, é a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo e depende da camada superficial do material emissor. Diferentes materiais apresentam parâmetros de absortividade (α) e emissividade (ϵ) distintos exemplificados na Tabela 3, sendo os materiais metálicos definidos no grupo com baixa emissividade, entre 0,05 e 0,30, e os não metálicos com altas emissividades, variando entre 0,85 a 0,90.

Tabela 3 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12/ 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65/ 0,80	0,85/ 0,95
Telha de barro	0,75/ 0,80	0,85/ 0,95
Tijolo aparente	0,65/ 0,80	0,85/ 0,95
Reboco claro	0,30/ 0,50	0,85/ 0,95
Revestimento asfáltico	0,85/ 0,98	0,90/ 0,98
Vidro incolor	0,06/ 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40/ 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35/ 0,80	0,15/ 0,84
Pintura:		
Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde clara	0,40	0,90
"Aluminio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

Fonte: NBR 15220 (2003)

2.2.2 Condutividade Térmica

A condutividade térmica (λ) representa a capacidade do material em conduzir menor ou maior quantidade de calor por unidade de tempo, dependendo exclusivamente da densidade do material. O processo de condução térmica é caracterizado pela interação entre átomos de diferentes temperaturas. Quando algum corpo é aquecido, seus átomos passam a oscilar com maior amplitude. Esses átomos mais agitados transferem parte da sua energia para os átomos vizinhos por colisões e vibrações, dessa maneira, eles se desaceleram, enquanto os menos agitados ganham velocidade. Por meio desse mecanismo, o calor é gradualmente transferido das regiões de maior temperatura em direção às regiões de menor temperatura, até que todo o sistema se encontre na mesma temperatura. Alguns exemplos estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Condutividade térmica

Material	λ (W/mK)
Concreto normal	1,75
Asfalto (densidade 1600)	0,43
Bloco cerâmico (densidade 1300~1600)	0,90
Alumínio	230
Vidro comum	1,0

(Adaptado NBR 15220:2003)

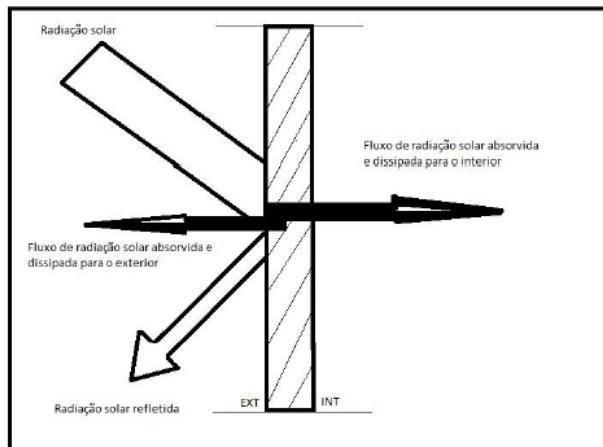
2.2.3 Resistência e Transmitância Térmica

A resistência térmica é a propriedade do material de resistir à passagem do calor. Quanto maior a espessura do material maior é a resistência desse material à passagem do calor, ou seja, quanto maior a condutividade térmica menor será a resistência térmica.

O inverso da resistência total térmica é sua transmitância térmica (U), uma variável importante para a avaliação de desempenho de fechamentos opacos. Dentre os fatores que podem influenciar esses índices encontram-se radiação solar, fechamentos opacos e transparentes. A principal diferença entre os dois é sua capacidade (transparentes) ou incapacidade (opacos) de transmitir a radiação solar para o ambiente interno.

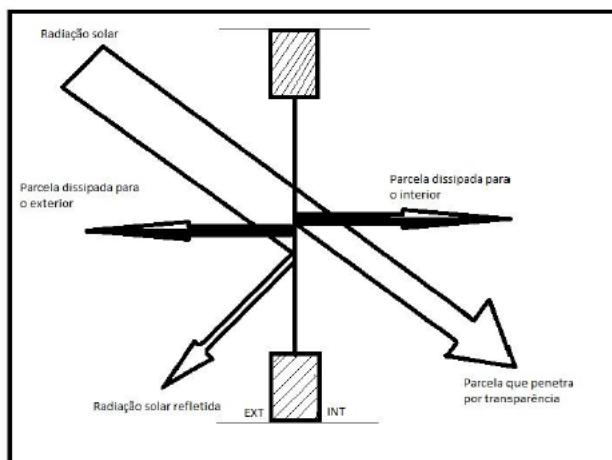
As figuras a seguir ilustram como ocorre essa transmissão de calor em paredes opacas (Figura 3) e superfícies transparentes ou translúcidas (Figura 4).

Figura 3 - Ilustração de trocas de calor através de paredes opacas



Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001, p.42

Figura 4 - Ilustração de trocas de calor através de superfícies transparentes ou translúcidas



Fonte: FROTA; SCHIFFER, 2001, p.43

2.2.4 Inércia Térmica

Uma edificação de elevada inércia térmica proporcionará uma diminuição das amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua alta capacidade de armazenar calor, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem e um amortecimento em relação ao externo. De fato, componentes de alta inércia térmica funcionam como uma espécie de bateria

térmica: Durante o verão absorvem o calor, mantendo a edificação confortável; no inverno, se bem orientado, pode armazenar o calor para liberá-lo à noite, ajudando a edificação a permanecer aquecida. (PROJETEEE, 2019).

A inércia térmica total da edificação depende das características do tipo de piso, parede e cobertura que devem ser compostos por materiais de elevada capacidade térmica.

O uso da estratégia de alta inércia só tem efeito se a ventilação natural através dos ambientes internos puder ser restringida ao longo do dia, já que com a ventilação a temperatura interna varia de acordo com o meio externo diretamente, sem o atraso térmico característico do fluxo de calor através das paredes e teto.

É necessário ter cuidado ao usar esta estratégia nos componentes de cobertura e de paredes à oeste, pois a elevada exposição à radiação solar durante a maior parte do ano pode se transformar em acumuladores de calor e provocar muito desconforto térmico interno no período de verão. Este tipo de estratégia deve ser aplicado a estes componentes com muito critério, procurando minimizar os ganhos solares através de isolamento térmico externo ou sombreamento no período diurno.

3. METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de avaliação do consumo energético de um projeto residencial por meio de simulações computacionais, seguindo as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 15575:2013. Para isso, fez-se necessário a determinação da zona bioclimática e obtenção do arquivo climático com as características do local, a escolha de cenários de diferentes materiais de parede e telha, a inserção de todos os elementos de ar condicionado, ocupação e componentes construtivos no Revit e então, a simulação dos cenários pré-determinados. Com as simulações realizadas, avaliou-se os resultados obtidos.

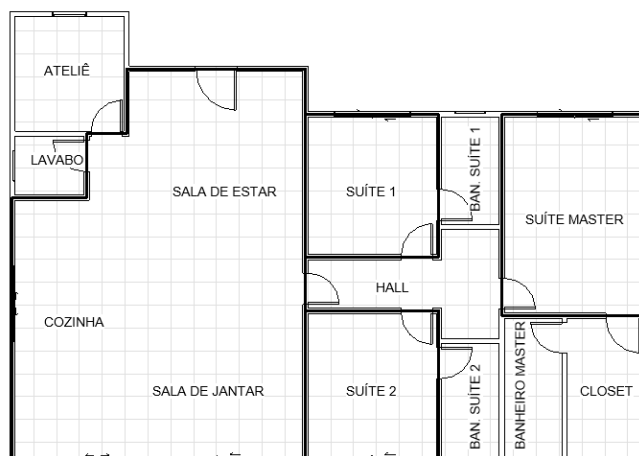
Os dados climáticos da cidade de São Carlos foram inicialmente retirados do ProjetEEE, que contempla os dados do ano de 2016. O *site* do Ministério do Meio Ambiente agrupa todos os dados climáticos necessários para esse tipo de análise e disponibiliza estratégias bioclimáticas a serem adotadas com os dados estabelecidos para cada zona bioclimática.

É necessário a escolha dos materiais e componentes construtivos no *software*. A NBR 15220:2003 apresenta vários componentes, de paredes, pisos, coberturas e vidros com os índices já calculados de acordo com a escolha de material. Também é possível modificar os componentes para estarem de acordo com a NBR 15575:2013. Neste trabalho, estes componentes serão utilizados juntamente com os da norma. A primeira norma é voltada para habitações unifamiliares populares com até três pavimentos, porém como é a única que delimita os aspectos de desempenho térmico no Brasil, é a que será utilizada para análise do projeto.

3.1 O Projeto

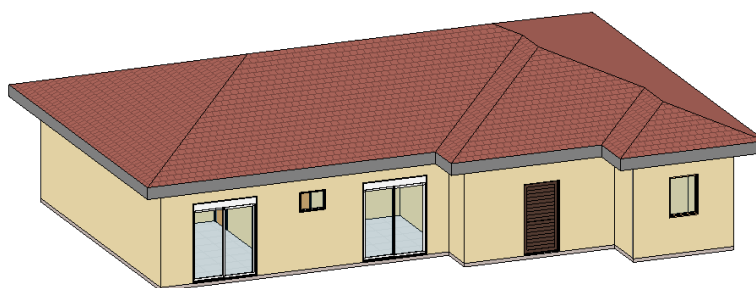
O projeto trata-se da habitação de uma chácara, em um terreno de 35 x 72 m. O projeto arquitetônico foi passado para o Revit, como mostrado na Figura 5 e na Figura 6.

Figura 5 - Projeto arquitetônico



Fonte: Autor, 2019

Figura 6 - Elevação frontal do projeto



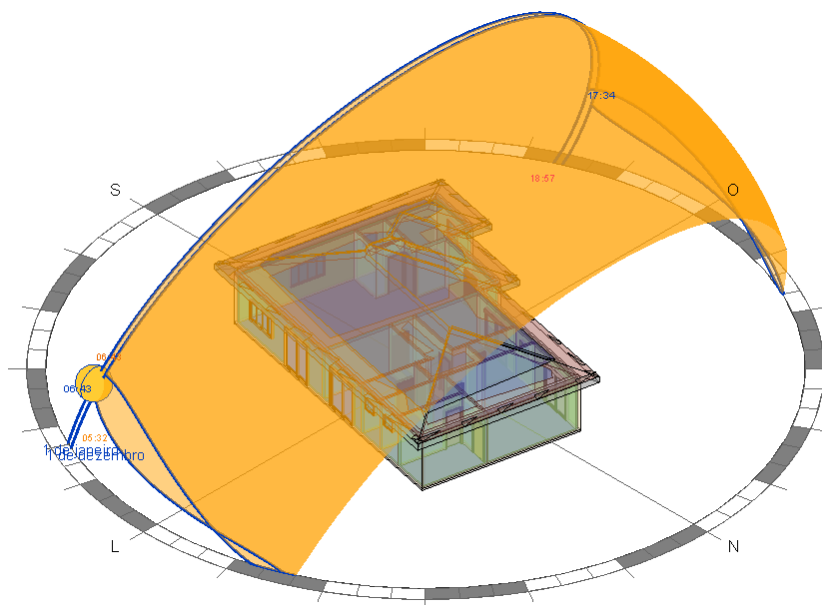
Fonte: Autor, 2019.

Para análise de eficiência energética é essencial saber qual a orientação solar em relação aos ambientes do projeto, uma vez que os ambientes são influenciados pelo calor recebido do sol durante o dia, e ser um requisito da ABNT NBR 15575:2013 e CBIC (2013). Na Figura 7 apresenta-se o caminho do sol especificado no *Revit*, que vai de 1 de janeiro a 1 de dezembro. Com isso, deu-se preferência a uma análise anual, para verificar de forma global o desempenho energético da edificação, ao invés de um único dia típico.

Através desse, identifica-se que a suíte principal possui uma parede voltada para o norte, e a outra, com janela voltada para oeste. A suíte 1 só possui uma parede externa, com

janela voltada à oeste, a suíte 2 à leste e a sala possui uma parede externa à oeste, outra a sul e outra a leste, sendo que as aberturas ficam a sul (janela) e portas à oeste e leste.

Figura 7 - Caminho do sol



Fonte: Autor, 2019.

Limeira, cidade do interior de São Paulo, onde o modelo de estudo desse trabalho está inserido, é classificada, segundo a NBR15220:2003, na zona bioclimática 4 (Tabela 5). Entretanto, como seus dados climáticos não foram encontrados em pesquisa no ProjeetEEE, site do Ministério do Meio Ambiente que fornece soluções bioclimáticas para projetar edificações energeticamente eficientes, ou na lista da NBR15220:2003, foram utilizados os dados da cidade de São Carlos, cidade mais próxima da cidade de estudo (102 quilômetros de distância), de mesma zona bioclimática, de acordo com a citada normativa.

Tabela 5 - Zonas de cidades de São Paulo

UF	Cidade	Zona
SP	Campinas	3
SP	Limeira	4
SP	Piracicaba	2
SP	Ribeirão Preto	4
SP	Santos	5
SP	São Carlos	4

Fonte: Adaptado da NBR 15220:2003

Para essa zona, as principais recomendações construtivas para as vedações externas são o uso de paredes pesadas e de coberturas leves que apresentem isolamento térmico. Também é recomendado a utilização de aberturas médias para ventilação e que essas sejam sombreadas durante todo ano. As estratégias e diretrizes construtivas estão especificadas na Tabela 6 e 7.

Tabela 6 - Estratégia Bioclimática

Estratégia Bioclimática - Zona 4	
Verão	Inverno
Resfriamento evaporativo e inércia térmica para resfriamento	Aquecimento solar da edificação
Ventilação seletiva nos períodos quentes, em que a temperatura interna seja superior à externa	Vedações internas pesadas (inércia térmica)

(Adaptado NBR 15220: 2013)

Tabela 7 - Diretrizes construtivas da zona 4

Abertura para ventilação A (em % da área de piso)	Sombreamento das aberturas	Parede		
		Transmitância térmica U (W/m ² .k)	Atraso térmico ϕ (horas)	Fator Solar Fso (%)
Médias $15\% < A < 25\%$	Sombrear aberturas	$\leq 2,2$ (parede pesada)	$\geq 6,5$	$\leq 3,5$
		Cobertura		
		Transmitância térmica U (W/m ² .k)	Atraso térmico ϕ (horas)	Fator Solar Fso (%)
		$\leq 2,0$ (leve isolada)	$\leq 3,3$	$\leq 6,5$

(Adaptado LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014)

3.2 Componentes Construtivos

As análises serão feitas com componentes de paredes e telha que serão modificados em cada cenário analisado, para depois definir a melhor situação. Foi decidido focar nas variações de elementos de parede e de telhado. Foram utilizados tanto os dados da NBR 15220:2003 como os dados encontrados no *site* ProjetEEE. Nos casos das portas e janelas, foram utilizados os dados disponíveis pelo fabricante Sasazaki, já disponíveis na família inserida no *Revit*.

Nos casos de itens que já vieram com os valores dos fabricantes, verificou-se que os valores de resistência térmica e coeficiente de transferência de calor estão dentro das normas, e por isso, mantidos, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Componentes térmicos da porta

Propriedades de tipo

Família: Item 04 - Sound Block - PIVCTR

Tipo: 240.5 x 200 (cm)

Carregar...
Duplicar...
Renomear...

Parâmetros de tipo

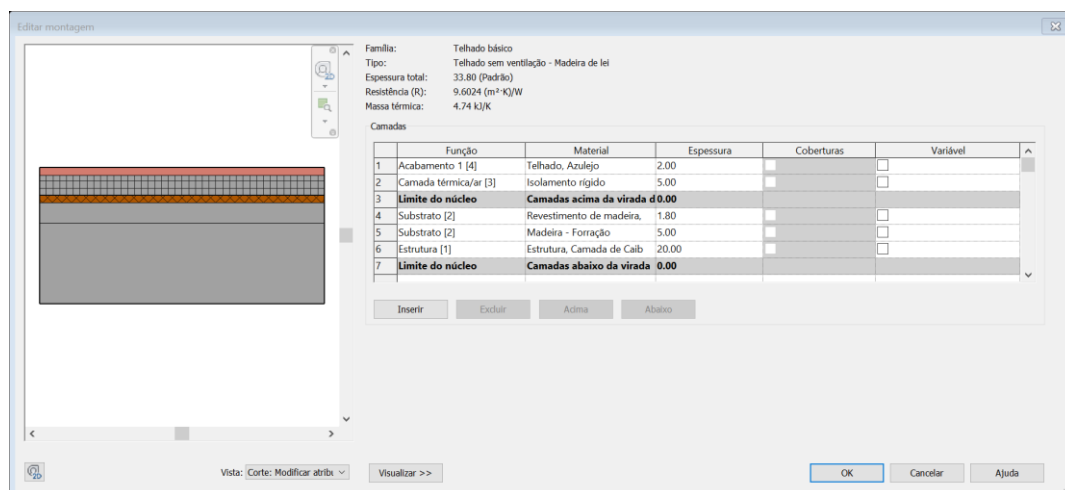
Parâmetro	Valor
Cotas	
Altura	240.50
Largura	200.00
Largura bruta	
Altura bruta	
Espessura	
Propriedades analíticas	
Construção analítica	Porta francesa, moldura de metal com vidro duplo
Transmissão de luz visual	0.000000
Coeficiente de ganho de calor solar	0.000000
Resistência térmica (R)	0.2336 (m²·K)/W
Coeficiente de transferência de calor (U)	4.2812 W/(m²·K)
Dados de identidade	
Contato	contato@sasazaki.com.br
Criação BIM por	www.pnmtecnologia.com
Isolamento Acústico	37dB
Nota: -rhave	

<< Visualizar OK Cancelar Aplicar

Fonte: Autor, 2019.

Para o telhado, foi escolhida a estrutura da cobertura, de madeira, e de acordo com as camadas e materiais, o programa também fornece os dados gerais conforme a Figura 9.

Figura 9 - Componentes e dados térmicos do telhado



Fonte: Autor, 2019.

Vale ressaltar que a NBR 15220:2003 apresenta as propriedades térmicas - condutividade térmica (λ), calor específico (c) e densidade (ρ) – para diversos materiais de construção. Esses coeficientes foram de extrema importância para caracterizar os materiais constituintes dos elementos construtivos. Já a NBR 15575:2013 busca avaliar as exigências de desempenho, garantindo um padrão mínimo de qualidade das edificações residenciais.

As Tabelas 8 e 10 resumem os componentes, as propriedades térmicas e os materiais utilizados nesse trabalho.

Tabela 8 - Propriedade térmica dos materiais

Material	Condutividade Térmica (W/(m.K))	Calor Específico (J/(G.°C))	Densidade (kg/m³)
Telha de concreto	1,15	1	1900
Telha de cerâmica	0,9	0,92	1500
Bloco cerâmico	0,6	1	1300
Bloco concreto	1,75	1	2400
Argamassa cimentícia	1,15	1	1900
Bloco cerâmico maciço	0,72	0,92	2000
Ar	0,31	1,0035	1,2

*Valores retirados da NBR 15220: 2003.

Foi realizado o cálculo da resistência térmica e da transferência de calor pelo método prescritivo da NBR 15220: 2013, do bloco de concreto e do cerâmico, e comparado com os dados calculados pelo próprio *software*. Essa comparação está demonstrada na Tabela 9 e pode-se perceber que há uma diferença considerável nos resultados de ambos os blocos. Nota-se que em percentual a diferença entre os resultados de bloco de concreto é de 20% a mais no software e do bloco cerâmico é de 10% a mais no software.

Tabela 9 - Comparação das propriedades do concreto das análises

	Bloco de concreto		Bloco cerâmico	
	Transferência de Calor (W/(m².K))	Resistência Térmica (m².K)/W	Transferência de Calor (W/(m².K))	Resistência Térmica (m².K)/W
Cálculo Prescritivo	5,6915	0,1757	3,4404	0,2906
Cálculo Revit	7,2178	0,1385	3,7895	0,2639

Fonte: Autor (2019).

Tabela 10 - Composição dos elementos das análises

Componentes	Composição	Espessuras (cm)	Transferência de Calor* (W/(m².K))	Resistência Térmica* (m².K)/W	Massa Térmica* (KJ/K)
Parede bloco cerâmico 8 furos	argamassa-bloco cerâmico-argamassa	2,5 + 9 + 2,5	5,1429	0,1944	17,05
Telhado cerâmico	telha-estrutura de madeira	2 + 32	0,1042	9,6008	4,48
Parede bloco cerâmico 8 furos	argamassa-bloco cerâmico-argamassa	2,5 + 14 + 2,5	3,7895	0,2639	22,61
Parede bloco concreto	argamassa-bloco-gesso	2,5 + 14 + 0,5	7,2178	0,1385	35,75
Parede bloco maciço cerâmico	bloco cerâmico+argamassa interna	10 + 2,5	5,76	0,1736	20,62
Parede bloco maciço cerâmico	bloco cerâmico+argamassa interna	20 + 2,5	3,2	0,3125	37,71
Parede bloco cerâmico 8 furos duplo (à Leste e Oeste)	argamassa-bloco cerâmico-ar-bloco cerâmico-argamassa	2,5 + 9 + 5 + 9 + 2,5	0,422	2,3694	28,8
Telhado concreto	telha-estrutura de madeira	7 + 32	0,1037	9,6394	14,27

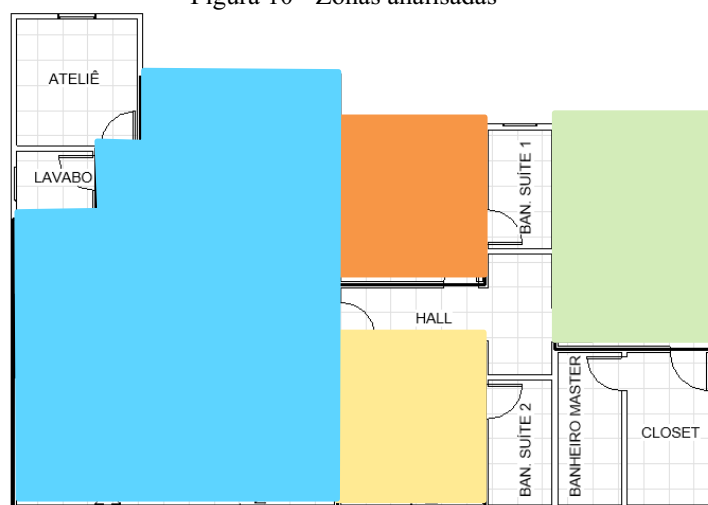
Bloco maciço cerâmico duplo (à Leste e Oeste)	argamassa-bloco cerâmico-ar-bloco cerâmico-argamassa	$2,5 + 10 + 5 + 10 + 2,5$	0,4324	2,3125	37,72
---	--	---------------------------	--------	--------	-------

*Propriedades térmicas inseridas no Revit e valores calculados pelo próprio programa

Para edificações residenciais, a norma ASHRAE 90.1: 2016 recomenda a utilização de um único equipamento de ar condicionado por ambiente. O equipamento escolhido dentre os possíveis no *Revit* foi o “gás de sistema dividido/compacto residencial 14 SEER / 0.9 AFUE < 5,5 ton”, pois o modelo a gás é o mais utilizado no Brasil e esse em específico é próprio para residências.

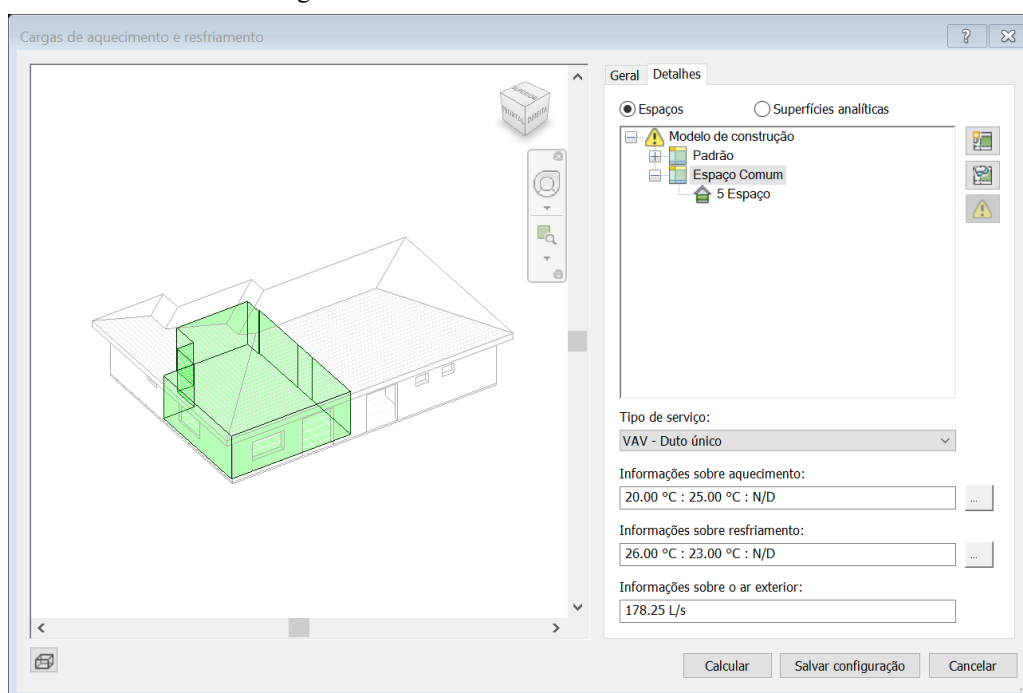
Foram analisados separadamente os ambientes mais críticos da residência: as três suítes e a área comum, composta por sala de estar, sala de jantar e cozinha. No *Revit* foram definidas as zonas desses ambientes, representados na Figura 10 e 11, e especificadas as condições de sistema de aquecimento/resfriamento para cada um deles.

Figura 10 - Zonas analisadas



Fonte: Autor, 2019

Figura 11 - Zona 4 analisada definida no Revit



Fonte: Autor, 2019

Essas condições de aquecimento/resfriamento estão de acordo com a ISO 17772-1:2017, de análise de consumo energético, considerando a categoria II, de nível médio de conforto para os usuários, mostrada na Tabela 11.

Tabela 11 - Variação de temperatura para cálculos por hora de energia para aquecimento e resfriamento.

Categoria	Ventilação por fluxo de ar total para pessoas não adaptadas	
	Litros por pessoa	Litros por m ²
I	20	2
III	8	0,8
IV	5,5	0,55

(Adaptado de ISO 17772-1:2017)

Os valores mínimos recomendados de ventilação para atender aos requisitos de qualidade do ar e saúde da zona ocupada, utilizando a mesma categoria, na Tabela 12. Também foi considerada a infiltração de ar através de frestas conforme estabelecida pela NBR 15575:2013, com taxa de renovação do ambiente e da cobertura de 1 ren/h.

Tabela 12 - Valores padrão para temperaturas operativas no inverno/verão para edificações com sistemas de resfriamento e aquecimento

Tipo de Edifício/espço	Categoria	Temperatura Operativa (°C)	
		Mínimo para aquecimento (inverno)	Mínimo para resfriamento (verão)
Edificações Residenciais (quartos, salas de jantar, cozinhas)	I	21,0	25,5
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	28,0
Observação: Assume-se 50% de umidade relativa do ar e velocidade do ar < 0,1m/s			

(Adaptado de ISO 17772-1:2017)

A norma ASHRAE 90.1:2017 também estabelece que os sistemas *HVAC* (aquecimento, ventilação e ar condicionado) devem ser ativados e desativados de acordo com uma agenda de ocupação, mas não fornece esses dados. Já a norma ISO 17772-1:2017 disponibiliza algumas sugestões referente à habitação unifamiliar, conhecido como operação padrão do ambiente, utilizada nessa pesquisa como apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Dados da agenda de ocupação

Hora	Utilização dos Aparelhos (%)	Iluminação (%)
1	50	0
2	50	0
3	50	0
4	50	0
5	50	0
6	50	0
7	50	15
8	70	15
9	70	15
10	50	15
11	50	5
12	60	5
13	60	5
14	60	5
15	60	5
16	50	5
17	50	20
18	70	20
19	70	20
20	80	20

21	80	20
22	80	20
23	60	15
24	60	15

(Adaptado de ISO 17772-1:2017)

3.3 DesignBuilder

O *software* inicialmente escolhido, DesignBuilder, como descrito em seu *site*, tem um conjunto de ferramentas de alta produtividade que auxiliam no projeto de construções sustentáveis, otimizando a eficiência energética, a iluminação natural, o conforto e o custo e ganha créditos com a certificação ambiental LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e o método de avaliação ambiental BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*).

É um *software* que trabalha com modelagem de edifícios e simulação de desempenho ambiental combinando rápida modelagem e interface amigável. É a primeira interface de modelagem amigável a ser combinada com as ferramentas de simulação térmica do Energy Plus (DESIGNBUILDER, 2019).

Com esse é possível modelar a edificação na fase de concepção ou avaliar edifícios já existentes, com materiais já definidos. Segundo Dantas e Santos (2014), a opção feita por esse tipo de *software* parte do fato de que a norma ABNT: NBR 15.575/2013 recomenda o uso do Energy Plus, com a modelagem facilitada utilizando o DesignBuilder.

Após a modelagem e simulações, é possível verificar o desempenho térmico da edificação, utilizando diversos materiais e elementos da estrutura, de forma a analisar a melhor combinação gerada por essas alterações.

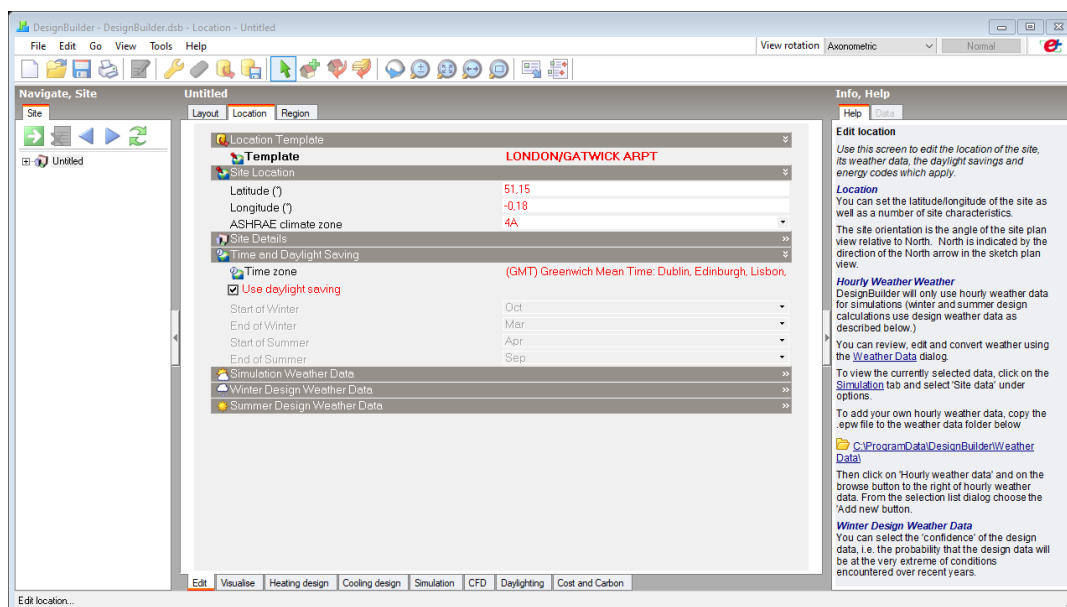
3.3.1 Exportando do Revit para o Designbuilder

Ao começar o processo de exportação foram encontrados diversos problemas. Todos os dados foram inseridos no *Revit* e como existe compatibilidade entre esse e o *software*

DesignBuilder, esperava-se a exportação completa de todas as informações, de localização, de materiais e componentes, de propriedades térmicas, o que não ocorreu. Foram realizadas diversas tentativas e em todas a exportação só funcionava para a estrutura do projeto.

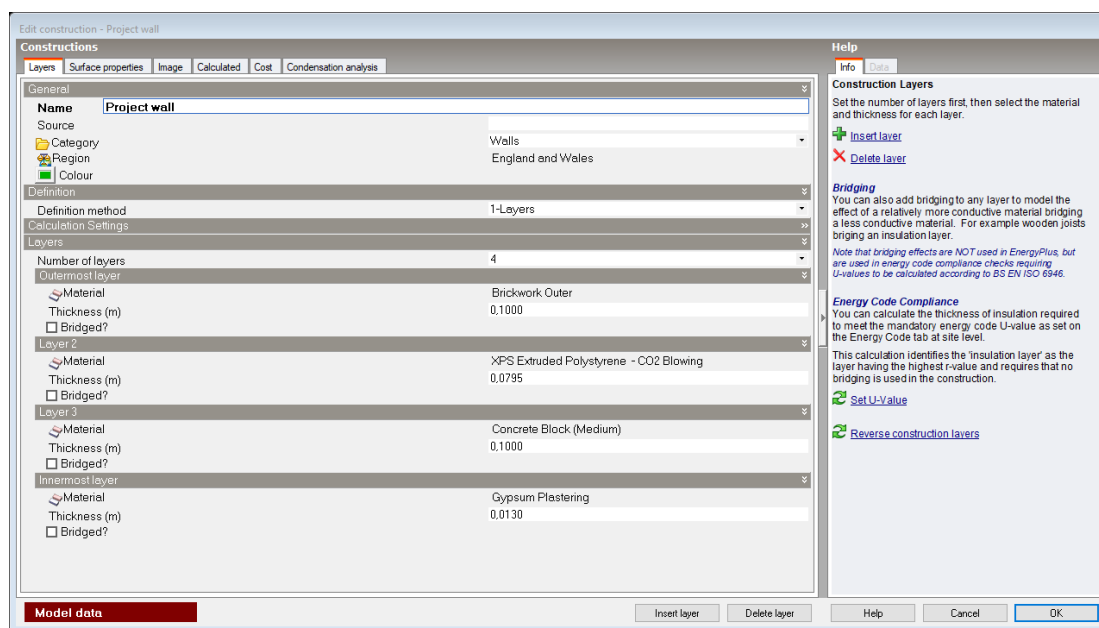
Na Figura 12 e 13 estão representados os resultados no *software* depois da exportação, que mostra a localização de Londres (não foram recebidos os dados de São Carlos) e mostra uma parede de quatro componentes, exterior de alvenaria, camada isolante de espuma de poliestireno, bloco de concreto e reboco de gesso (o primeiro cenário é composto por bloco cerâmico padrão de 8 furos com 9 cm e revestimento argamassado interno e externo). Para não perder todos os dados já inseridos no *Revit* decidiu-se que seria mais interessante utilizar um software com maior interoperabilidade no fluxo de informações, ou seja, do sistema se comunicar de forma mais transparente com outro sistema.

Figura 12 - Localização do software pós exportação



Fonte: Autor, 2019.

Figura 13 - Componentes da parede pós exportação



Fonte: Autor, 2019.

3.4 Green Building Studio (GBS)

O objetivo escolhido para esse trabalho foi o de analisar uma edificação residencial para encontrar o melhor cenário de eficiência energética. O *software* GBS, também faz essa análise, divergindo somente no ponto de seus resultados serem dados somente em unidades de energia ao invés de temperatura. Esse *software* ainda conta com a vantagem de ser da mesma desenvolvedora que o *software* de modelagem.

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2017), uma das extensões mais utilizadas para intercambiar os dados é a XML (*eXtensible Markup Language*), que é extensão do HTML. E uma de suas estruturas desenvolvidas é o gbXML (*Green Building XML*), que permite a transferência de informações necessárias para análises preliminares de energia de envelopes da edificação, zonas e simulação de equipamentos mecânicos. O gbXML tem se tornado padrão na indústria para a interoperabilidade entre programas *BIM* e de simulação energética (BES). Ele transfere as informações para os programas de análise energética sem o risco de perder informações do modelo *BIM*, eliminando a necessidade de revisão do modelo. É também destacado que a transferência de informações de uma ferramenta de criação *BIM* para um programa de simulação

energética é um processo unidirecional. As ferramentas de simulação energética não têm capacidade de transferir as alterações do modelo de energia para ferramenta de criação, então qualquer alteração necessária no modelo de simulação de energia deve ser realizada no *software* de origem.

O Autodesk Green Building Studio é um serviço flexível baseado em nuvem que permite executar simulações de desempenho da construção para otimizar a eficiência energética e trabalhar em direção à neutralidade do carbono no início do processo de design. O Green Building Studio auxilia a ampliar a capacidade de projetar edifícios de alto desempenho por uma fração do tempo e custo dos métodos convencionais. Ainda, fornece ferramentas completas de análise de energia de edifícios do Autodesk Revit (GBS, 2019).

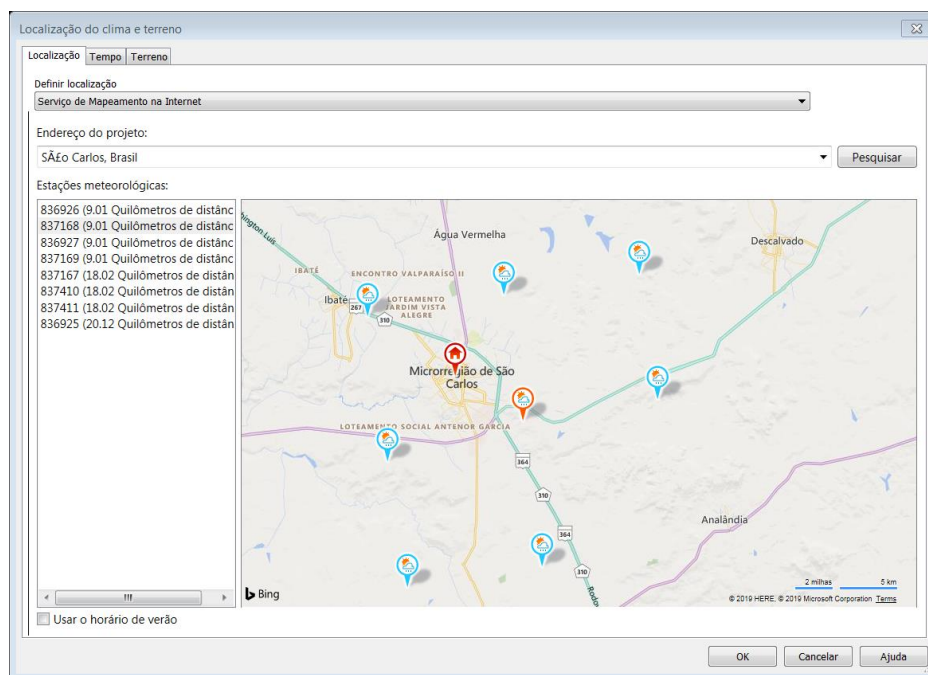
Ao escolher o GBS como novo *software* de trabalho tem-se então a garantia de que as transferências de dados ocorreram sem perdas graças a interoperabilidade entre o *Revit*, programa *BIM* e o sistema de simulação de energia.

3.4.1 Dados Climáticos

Ao escolher a localização da cidade de projeto, no Revit são disponibilizados oito estações meteorológicas de várias localizações virtuais da região de São Carlos (Figura 14). Essa estação precisa ser coincidente com os valores encontrados da estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada no *campus* da Universidade Federal de São Carlos, como está melhor detalhada na Figura 15.

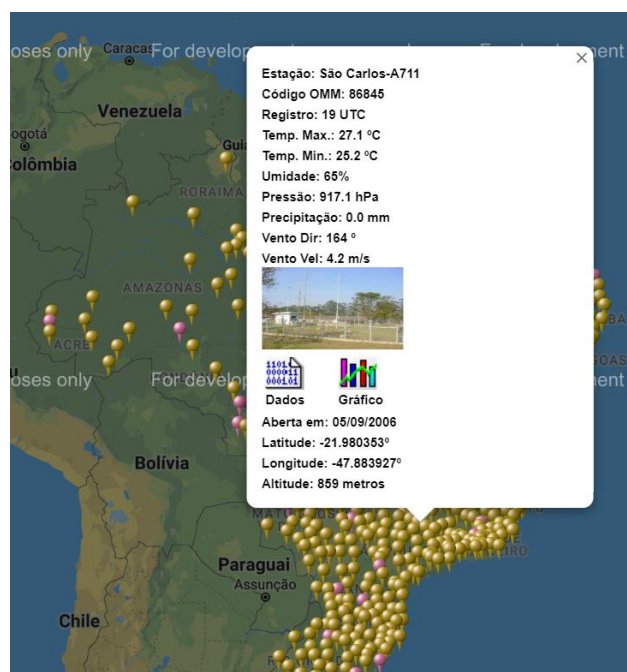
Dentre as opções de estações do Revit é disponibilizado a de número: 837168, sinalizada na Figura 16. Comparando essa à estação do INMET, os dados de latitude e longitude encontrados são muito similares, assim confirmando o uso dessa no Revit.

Figura 14 - Estações meteorológicas na região de São Carlos



Fonte: Autor, 2019.

Figura 15- Localização da estação meteorológica de São Carlos



Fonte: Autor, 2019.

Figura 16 - Estação meteorológica definida



Fonte: Autor, 2019

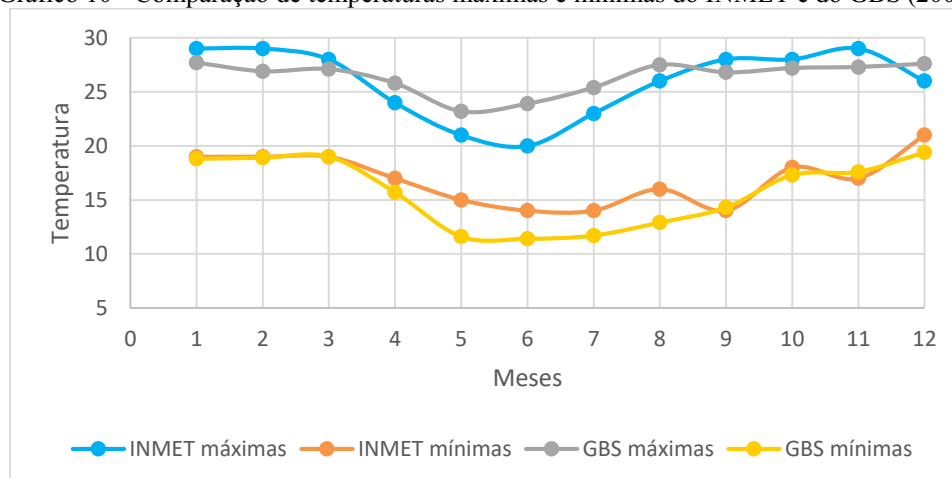
Para validar os dados de temperatura foi feita a Tabela 14, um quadro comparativo com as temperaturas disponibilizadas pelo GBS, que trabalha com as informações do ano de 2006 comparativamente as temperaturas disponibilizadas no INMET nesse mesmo ano. Com isso, foi realizado o Gráfico 10 para melhor comparação dos valores. Apesar de haver certa diferença, nos meses mais críticos para a simulação (setembro a janeiro) a variação é mínima, assim validando as temperaturas do GBS.

Tabela 14 - Comparativo das temperaturas do INMET e GBS

ANO: 2006	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Dados INMET	19-29	19-29	19-28	17-24	15-21	14-20	14-23	16-26	14-28	18-28	17-29	21-26
Dados GBS	18,8-27,7	18,9-26,9	19-27,1	15,7-25,8	11,6-23,2	11,4-23,9	11,7-25,4	12,9-27,5	14,3-26,8	17,3-27,2	17,6-27,3	19,4-27,6

*Valores referência de 2006 pois são os dados disponíveis no GBS

Gráfico 10 - Comparação de temperaturas máximas e mínimas do INMET e do GBS (2006)



Fonte: Autor, 2019

3.5 Cenários Analisados

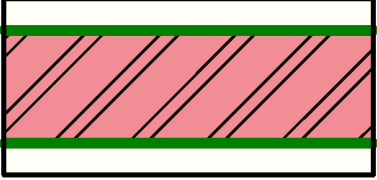
Foram escolhidos nove cenários para análise, variando os componentes das paredes em oito deles e do telhado no último. A Tabela 15 foi criada para melhor visualização de todos os cenários. O primeiro está ilustrado também na Figura 17. Em todos eles, o acabamento de argamassa foi considerado com pintura de cor clara. No quarto cenário foi utilizado bloco de concreto na estrutura das paredes e acabamento de argamassa cimentícia no exterior e gesso no interior (Figura 18). O sexto cenário é com o bloco maciço cerâmico deitado, promovendo espessura de 20 cm nas paredes externas e nas internas, o bloco em pé, de espessura 10 cm e como acabamento é utilizada argamassa cimentícia somente no interior (Figura 19).

Tabela 15 - Cenários Analisados

Cenário	Parede	Espessura do bloco	Telha
1	Parede bloco cerâmico 8 furos	9 cm	cerâmica
2	Parede bloco cerâmico 8 furos	14 cm	cerâmica
3	Parede bloco cerâmico 8 furos	9 cm (int) e 14 cm (ext)	cerâmica
4	Parede bloco concreto	14 cm	cerâmica
5	Parede bloco maciço cerâmico	10 cm	cerâmica
6	Parede bloco maciço cerâmico	20 cm	cerâmica
7	Parede bloco cerâmico 8 furos duplo (à Leste e Oeste)	9 cm cada	cerâmica
8	Bloco maciço cerâmico duplo (à Leste e Oeste)	10 cm cada	cerâmica
9	Parede bloco cerâmico 8 furos	9 cm	concreto

Fonte: Autor, 2019

Figura 17 - Parede do cenário 1



Família: Parede básica
 Tipo: Parede básica: Genérico - 140 mm Alvenaria
 Espessura total: 14.00
 Resistência (R): 0.1944 (m²·K)/W
 Massa térmica: 22.44 kJ/K

Camadas

LADO EXTERNO			
	Função	Material	Espessura
1	Acabamento 1 [4]	Argamassa cimentícia	2.50
2	Límite do núcleo	Camadas acima da virada do r	0.00
3	Estrutura [1]	Tijolo, Comum	9.00
4	Límite do núcleo	Camadas abaixo da virada do	0.00
5	Acabamento 1 [4]	Argamassa cimentícia	2.50

LADO INTERNO

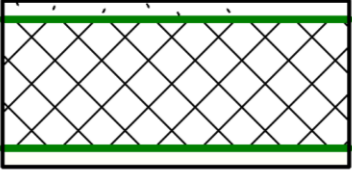
Inserir Excluir Acima Abaixo

Virada do revestimento-padrão

Nas inserções: Não virar
 Nas extremidades: Nenhum

Fonte: Autor, 2019

Figura 18 - Parede do cenário 4



Família: Parede básica
 Tipo: Bloco de Concreto
 Espessura total: 18.00
 Resistência (R): 0.1662 (m²·K)/W
 Massa térmica: 24.20 kJ/K

Camadas

LADO EXTERNO			
	Função	Material	Espessura
1	Acabamento 2 [5]	Placa de gesso de parede	2.00
2	Límite do núcleo	Camadas acima da virada do r	0.00
3	Estrutura [1]	Unidades de alvenaria de con	14.00
4	Límite do núcleo	Camadas abaixo da virada do	0.00
5	Acabamento 1 [4]	Argamassa cimentícia	2.00

LADO INTERNO

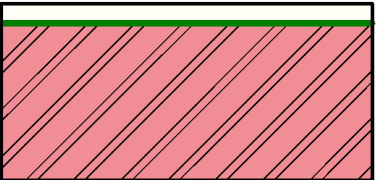
Inserir Excluir Acima Abaixo

Virada do revestimento-padrão

Nas inserções: Não virar
 Nas extremidades: Nenhum

Fonte: Autor, 2019

Figura 19 - Parede do cenário 6



Família: Parede básica
 Tipo: Bloco Madiço Cerâmico - 20 cm
 Espessura total: 22.50
 Resistência (R): 0.3125 (m²·K)/W
 Massa térmica: 37.71 kJ/K

Camadas

LADO EXTERNO			
	Função	Material	Espessura
1	Acabamento 1 [4]	Argamassa cimentícia	2.50
2	Límite do núcleo	Camadas acima da virada do r	0.00
3	Estrutura [1]	Tijolo, Comum	20.00
4	Límite do núcleo	Camadas abaixo da virada do	0.00

LADO INTERNO

Inserir Excluir Acima Abaixo

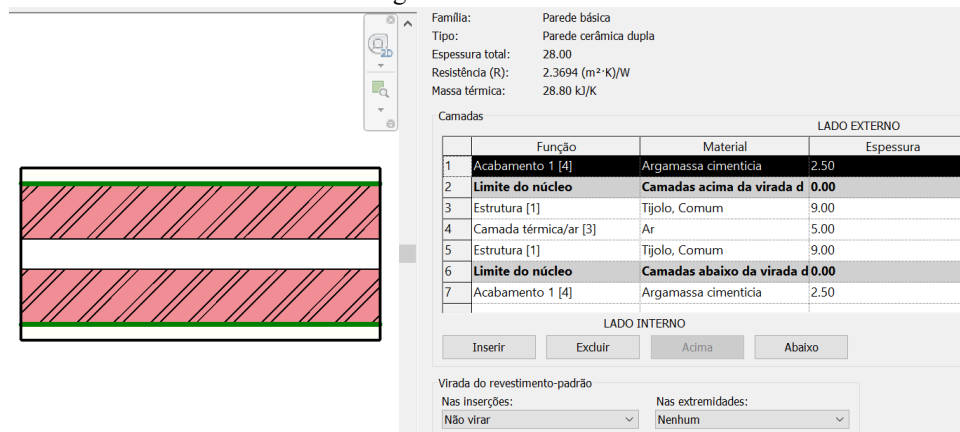
Virada do revestimento-padrão

Nas inserções: Não virar
 Nas extremidades: Nenhum

Fonte: Autor, 2019

No sétimo cenário optou-se por utilizar parede dupla com camada de isolamento de ar nas paredes à oeste, direção mais prejudicada durante o verão e nas paredes à leste, pois com os testes foi observado que o ambiente que se encontra nessa parede não tem por onde dissipar a energia vinda do sol, tornando-se assim uma situação desfavorável. A estrutura e o acabamento são os mesmos do cenário 1, como mostrado na Figura 20.

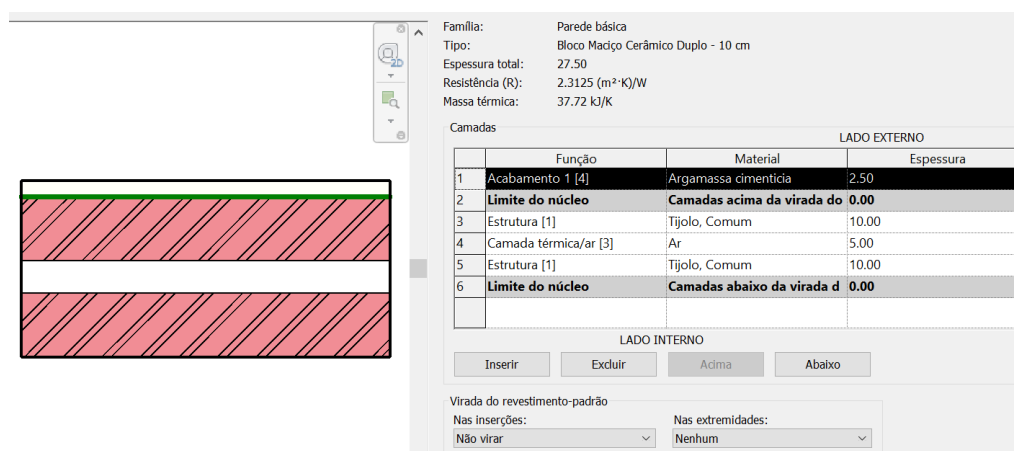
Figura 20 - Parede do cenário 7



Fonte: Autor, 2019

No cenário oito foi feita uma variação do cenário 6, utilizado o bloco maciço cerâmico com parede dupla com camada de isolamento, assim como mostra a Figura 21, também somente nas paredes de oeste e leste. Em todos os cenários foi utilizado telhado de estrutura de madeira com telha cerâmica.

Figura 21 - Parede do cenário 8



Fonte: Autor, 2019

No último cenário, o nono, foi utilizada a composição da parede do cenário 1 e a alteração ocorreu no telhado. Manteve-se a estrutura de madeira e modificou-se a telha cerâmica para telha de concreto. A diferença dessas, além do material e das propriedades é a espessura mostrada na Tabela 10 anteriormente. A telha de concreto tem espessura de 7 cm, sendo bem maior que a cerâmica de espessura 2 cm.

4. RESULTADOS

As análises são realizadas dentro de um período de um ano, como já vem estabelecido no GBS. Foram analisadas as diferenças encontradas entre o consumo energético dos ambientes de acordo com a troca dos componentes de parede e telhado e o quanto variou entre as zonas estudadas.

Quando analisado as propriedades térmicas dos blocos, em percentual a diferença entre os resultados de bloco de concreto é de 20% a mais no software e do bloco cerâmico é de 10% a mais no software, então os resultados finais podem divergir em 10% (a diferença entre eles). Seria interessante colocar os dados em outro software para então comparar os resultados e analisar a diferença.

No Revit é possível gerar um relatório das cargas de aquecimento e resfriamento. Na Figura 22 é mostrado uma parte do relatório gerado para a suíte 1 e na Figura 23, o da sala. No Anexo A desse trabalho se encontram os relatórios completos de cada cenário, divididos por ambiente.

Figura 22 - Relatório da suíte 1

Área da clarabóia (m²)	0
Carga de iluminação (W)	79
Carga de alimentação (W)	36
Número de pessoas	2
Ganho sensível ao calor / Pessoa (W)	73
Ganho latente de calor / Pessoa (W)	45
Fluxo de ar da infiltração (L/s)	0.0
Tipo de espaço	Quarto de dormir
Resultados calculados	
Carga do pico de resfriamento (W)	3.108
Mês e hora do pico de resfriamento	Fevereiro 12:00
Carga sensível do pico de resfriamento (W)	3.054
Carga latente do pico de resfriamento (W)	55
Fluxo de ar do pico de resfriamento (L/s)	591.6
Carga do pico de aquecimento (W)	2.217
Fluxo de ar do pico de aquecimento (L/s)	593.1

Componentes	Resfriamento		Aquecimento	
	Cargas (W)	Percentual do total	Cargas (W)	Percentual do total
Parede	2,650	85.25%	1,928	76.70%
Janela	0	0.00%	0	0.00%
Porta	310	9.97%	437	17.39%
Telhado	0	0.00%	0	0.00%
Clarabóia	0	0.00%	0	0.00%
Partição	0	0.00%	0	0.00%
Infiltração	0	0.00%	0	0.00%
Iluminação	5	0.16%	-5	-0.20%
Alimentação	2	0.07%	-2	-0.09%
Pessoas	141	4.54%	-141	-5.61%
Plenum	0	0.00%		
Total	3,108	100%	2,217	100%

Fonte: Autor, 2019

Figura 23 - Relatório da sala

Área da clarabóia (m²)	0
Carga de iluminação (W)	565
Carga de alimentação (W)	202
Número de pessoas	6
Ganho sensível ao calor / Pessoa (W)	81
Ganho latente de calor / Pessoa (W)	81
Fluxo de ar da infiltração (L/s)	0.0
Tipo de espaço	Área de refeições - Refeições Salão/Lazer
Resultados calculados	
Carga do pico de resfriamento (W)	7,658
Mês e hora do pico de resfriamento	Abril 15:00
Carga sensível do pico de resfriamento (W)	7,368
Carga latente do pico de resfriamento (W)	290
Fluxo de ar do pico de resfriamento (L/s)	1,419.7
Carga do pico de aquecimento (W)	4,080
Fluxo de ar do pico de aquecimento (L/s)	1,179.0

Componentes	Resfriamento		Aquecimento	
	Cargas (W)	Percentual do total	Cargas (W)	Percentual do total
Parede	5,605	73.19%	3,967	74.51%
Janela	945	12.34%	180	3.39%
Porta	486	6.35%	555	10.42%
Telhado	0	0.00%	0	0.00%
Clarabóia	0	0.00%	0	0.00%
Partição	0	0.00%	0	0.00%
Infiltração	0	0.00%	0	0.00%
Iluminação	32	0.42%	-32	-0.61%
Alimentação	12	0.15%	-12	-0.22%
Pessoas	578	7.55%	-578	-10.86%
Plenum	0	0.00%		
Total	7,658	100%	4,080	100%

Fonte: Autor, 2019

Esses relatórios auxiliam o entendimento das análises que serão mostradas, uma vez que um de seus dados é referente ao percentual de carga energética que é necessária para resfriamento ou aquecimento devido a determinado componente. Fica claro que em ambos os casos a parede é a maior fonte de ganho de calor do ambiente (85,25% na suíte e 73,19% na sala), exatamente alvo das análises.

4.1 Análise entre os ambientes

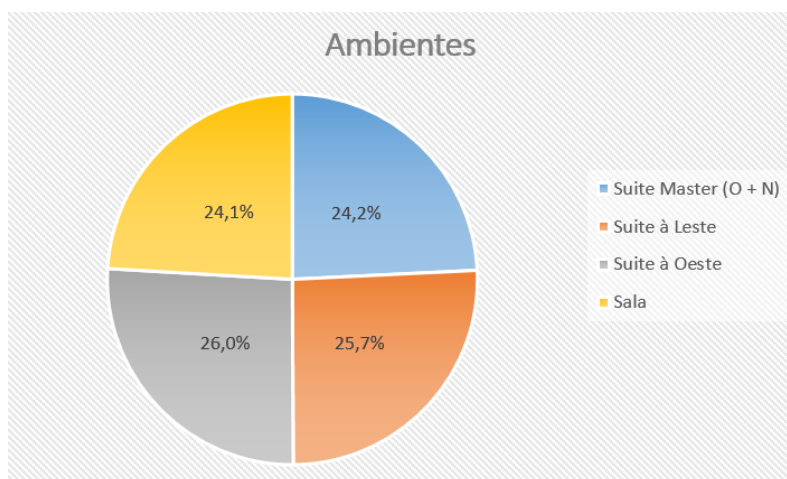
Ao gerar os gráficos no GBS são fornecidas opções de análise anual e mensal de consumo de energia de cada ambiente. Os valores foram planilhados e transformados em gráficos para melhor análise dos resultados. A primeira verificação foi realizada comparando os componentes de um mesmo cenário nas quatro zonas, para verificar qual consome mais energia. As Tabelas de 16 a 23 mostram os resultados de todos os cenários. Os gráficos foram feitos comparando os valores anuais de cada zona com o total das quatro, gerando as porcentagens mostradas nos Gráficos 1 a 8.

Tabela 16 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 9 cm

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	37	JAN	40	JAN	39	JAN	35
FEV	8	FEV	9	FEV	9	FEV	7
MAR	4	MAR	4	MAR	4	MAR	4
ABR	0,14	ABR	0,15	ABR	0,11	ABR	0,14
MAI	0	MAI	0,01	MAI	0	MAI	0
JUN	0,06	JUN	0,06	JUN	0,01	JUN	0,06
JUL	6	JUL	6	JUL	6	JUL	5
AGO	46	AGO	48	AGO	49	AGO	47
SET	49	SET	51	SET	53	SET	50
OUT	75	OUT	79	OUT	81	OUT	75
NOV	63	NOV	66	NOV	67	NOV	63
DEZ	41	DEZ	44	DEZ	44	DEZ	40
ANUAL	328	ANUAL	348	ANUAL	352	ANUAL	326

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 1 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 9 cm



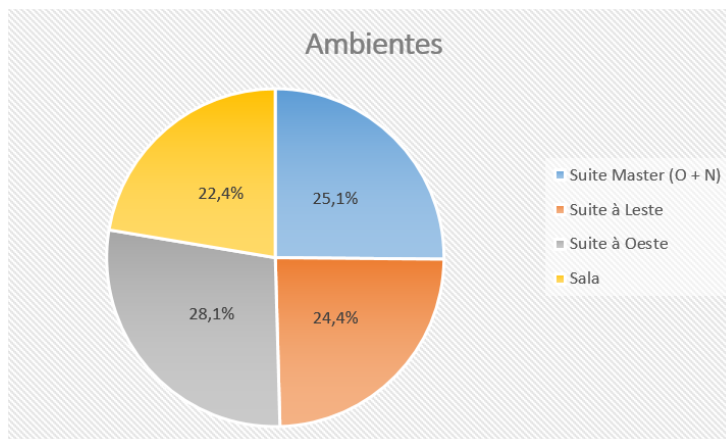
Fonte: Autor, 2019

Tabela 17 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 14 cm

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	10	JAN	9	JAN	12	JAN	6
FEV	1	FEV	1	FEV	2	FEV	0,68
MAR	0,19	MAR	0,17	MAR	0,28	MAR	0,17
ABR	0,01	ABR	0,01	ABR	0	ABR	0,01
MAI	0	MAI	0	MAI	0	MAI	0
JUN	0,01	JUN	0,01	JUN	0	JUN	0,01
JUL	2	JUL	2	JUL	2	JUL	1
AGO	28	AGO	27	AGO	31	AGO	25
SET	33	SET	33	SET	37	SET	32
OUT	48	OUT	49	OUT	54	OUT	47
NOV	34	NOV	32	NOV	38	NOV	31
DEZ	15	DEZ	13	DEZ	16	DEZ	11
ANUAL	172	ANUAL	167	ANUAL	192	ANUAL	153

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 2 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos de 14 cm



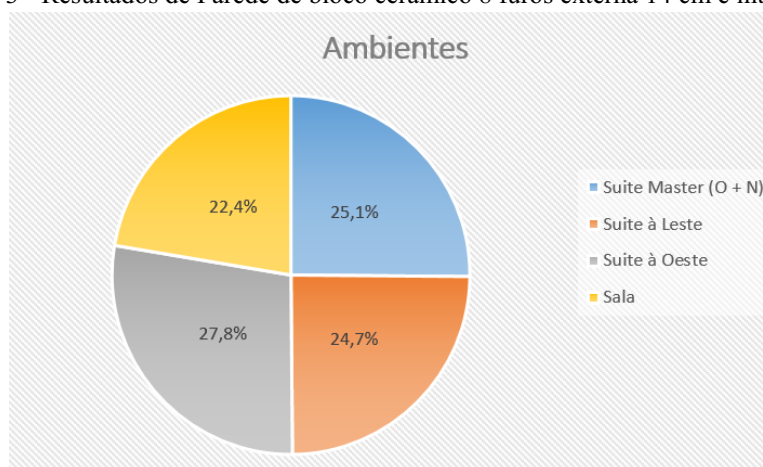
Fonte: Autor, 2019

Tabela 18 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos externa 14 cm e interna 9 cm

Suite Master		Suite à leste		Suite à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	11	JAN	10	JAN	12	JAN	7
FEV	1	FEV	1	FEV	2	FEV	0,7
MAR	0,18	MAR	0,16	MAR	0,25	MAR	0,18
ABR	0,02	ABR	0,02	ABR	0	ABR	0,02
MAI	0	MAI	0	MAI	0	MAI	0
JUN	0,05	JUN	0,06	JUN	0	JUN	0,05
JUL	2	JUL	2	JUL	3	JUL	2
AGO	31	AGO	31	AGO	34	AGO	28
SET	37	SET	37	SET	41	SET	35
OUT	53	OUT	53	OUT	59	OUT	51
NOV	37	NOV	36	NOV	41	NOV	33
DEZ	17	DEZ	15	DEZ	18	DEZ	12
ANUAL	190	ANUAL	187	ANUAL	210	ANUAL	169

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 3 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos externa 14 cm e interna 9 cm



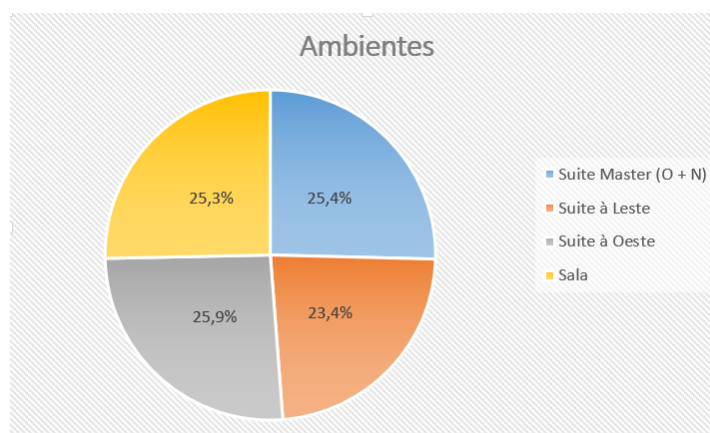
Fonte: Autor, 2019

Tabela 19 - Resultados de Parede de bloco de concreto

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	101	JAN	91	JAN	103	JAN	105
FEV	39	FEV	33	FEV	40	FEV	37
MAR	36	MAR	29	MAR	34	MAR	31
ABR	15	ABR	12	ABR	13	ABR	12
MAI	6	MAI	5	MAI	5	MAI	5
JUN	10	JUN	9	JUN	9	JUN	9
JUL	33	JUL	29	JUL	32	JUL	29
AGO	103	AGO	97	AGO	104	AGO	100
SET	103	SET	99	SET	105	SET	103
OUT	140	OUT	134	OUT	145	OUT	145
NOV	119	NOV	113	NOV	125	NOV	124
DEZ	96	DEZ	87	DEZ	101	DEZ	100
ANUAL	801	ANUAL	738	ANUAL	816	ANUAL	799

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 4 - Resultados de Parede de bloco de concreto



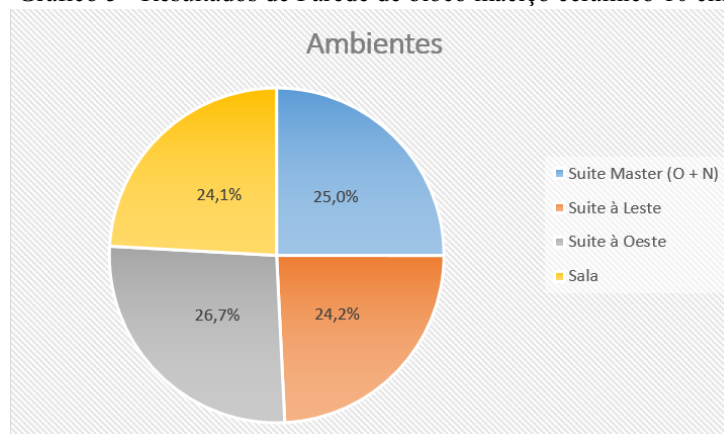
Fonte: Autor, 2019

Tabela 2 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	32	JAN	30	JAN	34	JAN	29
FEV	9	FEV	9	FEV	10	FEV	8
MAR	6	MAR	6	MAR	6	MAR	6
ABR	1	ABR	1	ABR	1	ABR	1
MAI	0,09	MAI	0,09	MAI	0,09	MAI	0,09
JUN	0,02	JUN	0,02	JUN	0,01	JUN	0,02
JUL	6	JUL	6	JUL	6	JUL	5
AGO	45	AGO	44	AGO	48	AGO	44
SET	48	SET	48	SET	52	SET	48
OUT	67	OUT	67	OUT	73	OUT	67
NOV	56	NOV	54	NOV	60	NOV	55
DEZ	35	DEZ	33	DEZ	37	DEZ	32
ANUAL	307	ANUAL	297	ANUAL	327	ANUAL	296

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 5 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm



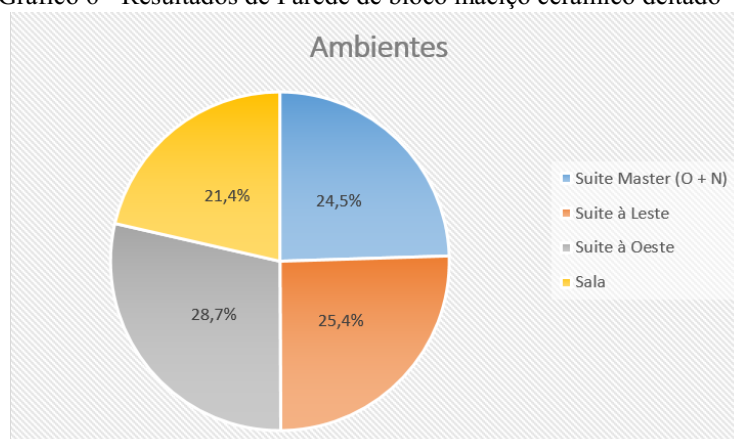
Fonte: Autor, 2019

Tabela 21 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico deitado - 20 cm

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	8	JAN	7	JAN	9	JAN	3
FEV	0,82	FEV	0,84	FEV	0,94	FEV	0,28
MAR	0,03	MAR	0,04	MAR	0,09	MAR	0,03
ABR	0,01	ABR	0,01	ABR	0	ABR	0,01
MAI	0	MAI	0	MAI	0	MAI	0
JUN	0,02	JUN	0,02	JUN	0	JUN	0,02
JUL	1	JUL	1	JUL	1	JUL	0,75
AGO	24	AGO	26	AGO	29	AGO	22
SET	33	SET	34	SET	38	SET	31
OUT	48	OUT	51	OUT	57	OUT	46
NOV	33	NOV	33	NOV	38	NOV	29
DEZ	12	DEZ	11	DEZ	14	DEZ	7
ANUAL	159	ANUAL	165	ANUAL	186	ANUAL	139

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 6 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico deitado - 20 cm



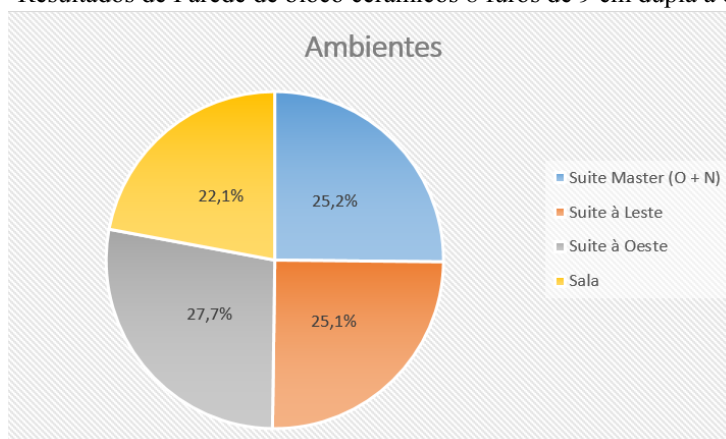
Fonte: Autor, 2019

Tabela 22 - Resultados de Parede de bloco cerâmico 8 furos 9 cm dupla à oeste e leste

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	10	JAN	9	JAN	11	JAN	5
FEV	0,82	FEV	0,91	FEV	0,99	FEV	0,45
MAR	0,21	MAR	0,22	MAR	0,27	MAR	0,2
ABR	0,03	ABR	0,04	ABR	0,01	ABR	0,03
MAI	0,03	MAI	0,04	MAI	0	MAI	0,03
JUN	0,37	JUN	0,38	JUN	0,3	JUN	0,34
JUL	7	JUL	6	JUL	8	JUL	4
AGO	44	AGO	45	AGO	48	AGO	41
SET	49	SET	51	SET	54	SET	47
OUT	62	OUT	63	OUT	69	OUT	59
NOV	38	NOV	36	NOV	41	NOV	31
DEZ	17	DEZ	15	DEZ	18	DEZ	11
ANUAL		ANUAL		ANUAL		ANUAL	
227		226		250		199	

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 7 - Resultados de Parede de bloco cerâmicos 8 furos de 9 cm dupla à oeste e leste



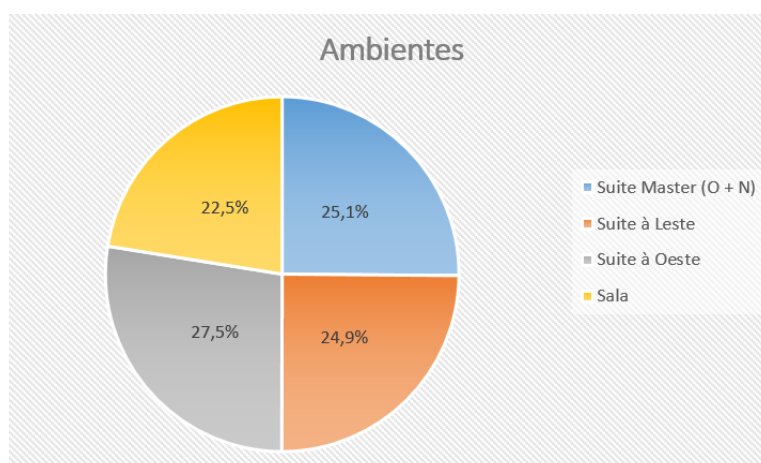
Fonte: Autor, 2019

Tabela 23 - Resultados de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm dupla à oeste e leste

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
1	14	JAN	13	JAN	14	JAN	9
2	3	FEV	3	FEV	3	FEV	2
3	2	MAR	2	MAR	2	MAR	2
4	0,35	ABR	0,36	ABR	0,34	ABR	0,34
5	0,05	MAI	0,05	MAI	0,03	MAI	0,04
6	0,28	JUN	0,3	JUN	0,19	JUN	0,25
7	6	JUL	6	JUL	7	JUL	4
8	43	AGO	44	AGO	47	AGO	40
9	48	SET	49	SET	53	SET	46
10	62	OUT	63	OUT	68	OUT	59
11	40	NOV	38	NOV	44	NOV	35
12	19	DEZ	18	DEZ	20	DEZ	14
ANUAL		ANUAL		ANUAL		ANUAL	
237		235		259		212	

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 8 - Resultado de Parede de bloco maciço cerâmico 10 cm dupla à oeste e leste



Fonte: Autor, 2019

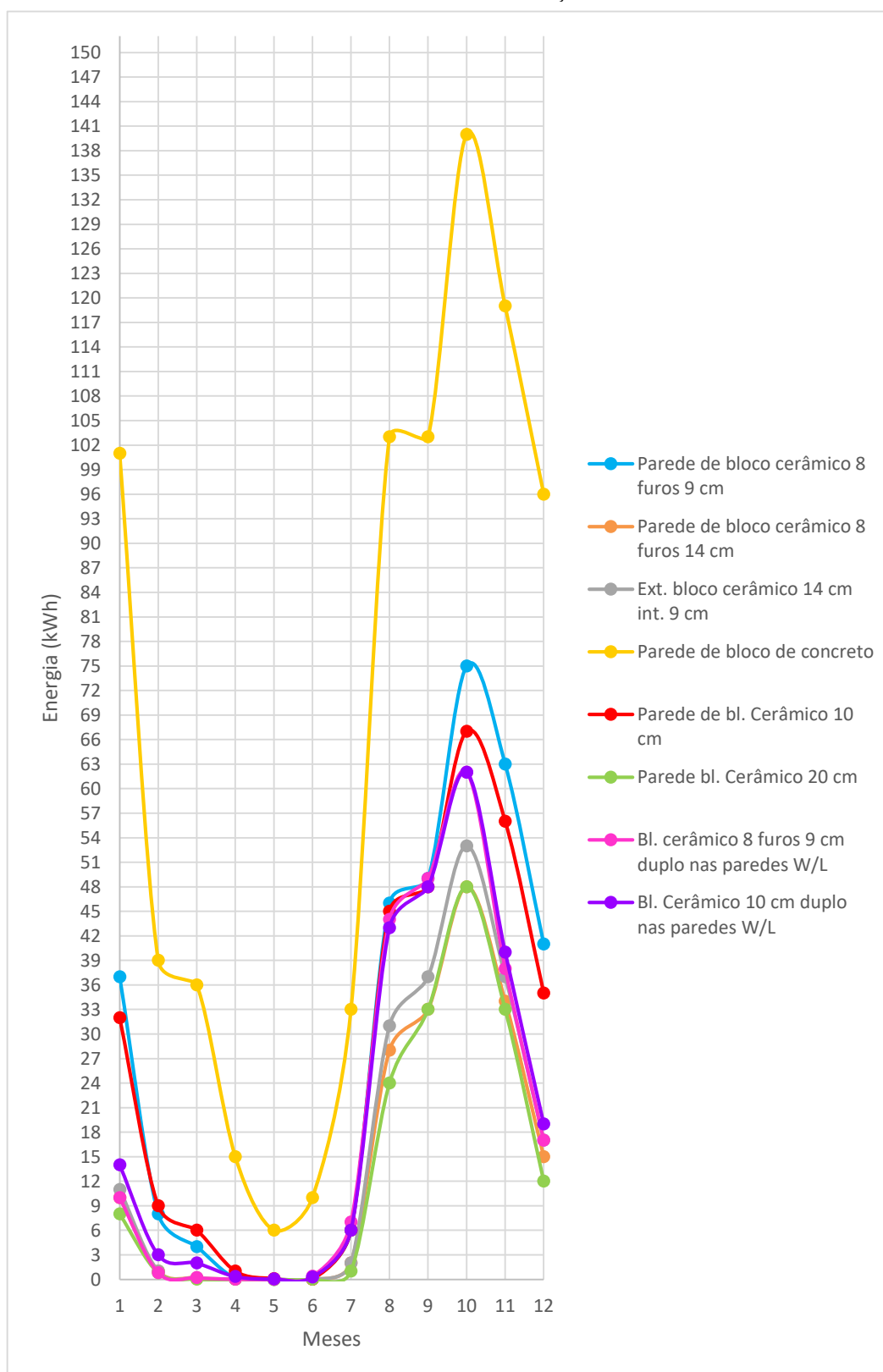
Pelos resultados dos gráficos pode-se perceber que o ambiente de maior consumo de energia, em todos os casos, é a suíte voltada à oeste, que absorve muito mais calor do sol, ao contrário do que era esperado, já que a NBR 15575: 2013 estabelece que no verão deve ser analisado o ambiente voltado a oeste e norte com ao menos uma abertura à oeste, o que nesse projeto seria a suíte máster. Portanto, verifica-se que a análise requerida pela normativa nem sempre é verdadeira. A sala tem o menor consumo energético por ser maior e ter mais aberturas, conseguindo dissipar parte do calor absorvido, exceto no cenário de parede de concreto em que acaba sendo maior que a suíte à leste (a sala tendo 25,4% e a suíte 23,4%). Isso pode ser devido ao material absorver muito mais calor do que a sala consegue dissipar.

De acordo com as tabelas é possível ver que no inverno o consumo tende ou é igual a zero, já que não existe a necessidade de refrigeração devido às temperaturas serem muito baixas. Em julho, como as temperaturas vão aumentando aos poucos, já ocorre um pequeno aumento de consumo de energia, que dispara em agosto, mês que realmente começa a esquentar e vai aumentando até setembro. Comum em todos os casos o mês de maior consumo é outubro e passando o mês de pico ocorre uma queda considerável desse. Essa queda é devido ao fato de nesse período começarem as chuvas, que refrescam o ambiente, consequentemente diminuindo as temperaturas.

4.2 Análise entre os cenários

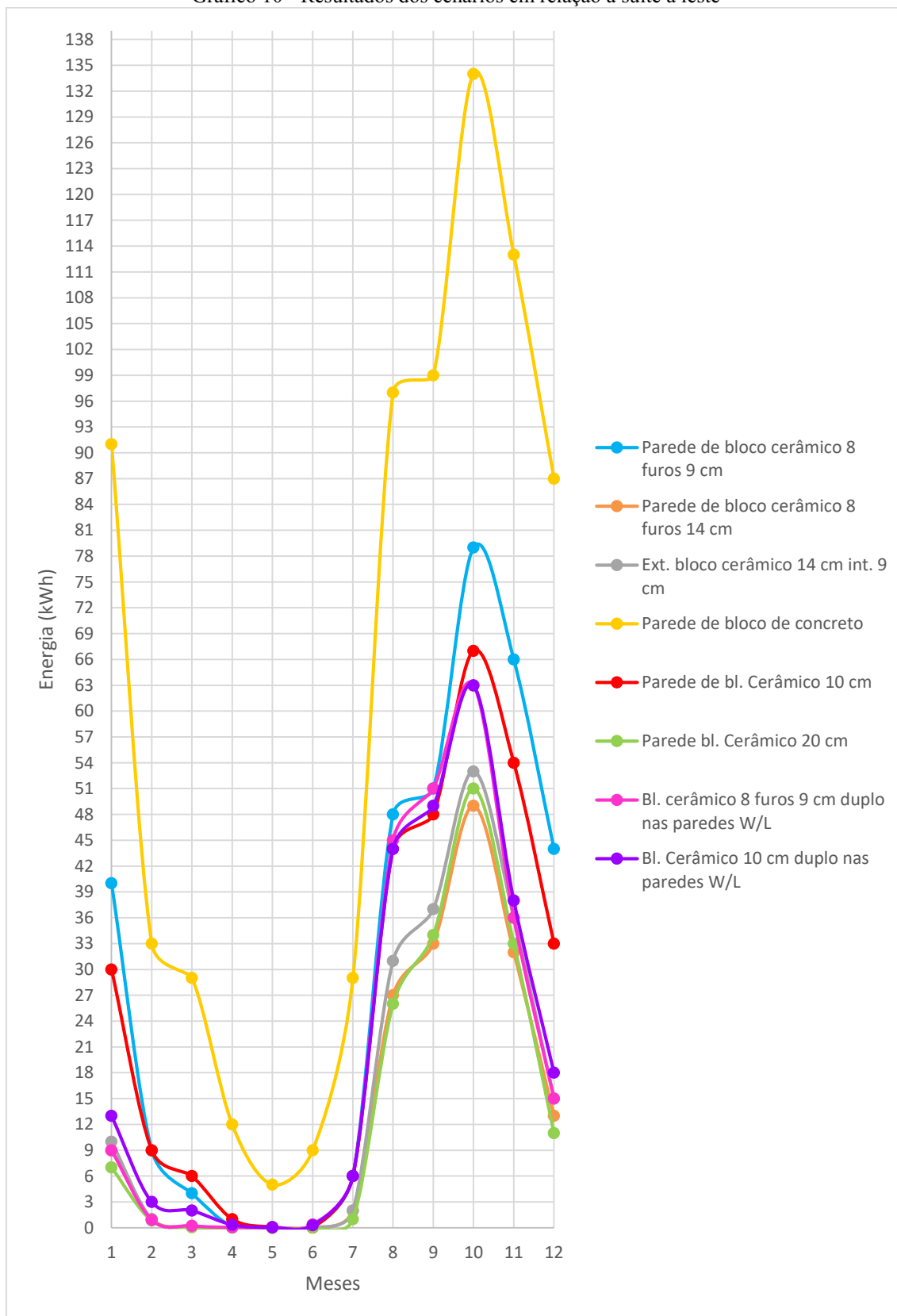
Comparando os cenários apresentados, nos gráficos 9, 10, 11 e 12, fica mais visível os meses de maior pico de calor, em que ocorre maior consumo energético e percebe-se queda significativa no inverno e o aumento na primavera e verão. Com esta comparação fica claro a diferença entre os cenários, quais componentes consomem mais e quais consomem menos energia. Nesses mesmos Gráficos é possível verificar essa comparação na suíte máster, na suíte à leste, na suíte à oeste e na sala, respectivamente.

Gráfico 9 - Resultados dos cenários em relação à suíte máster



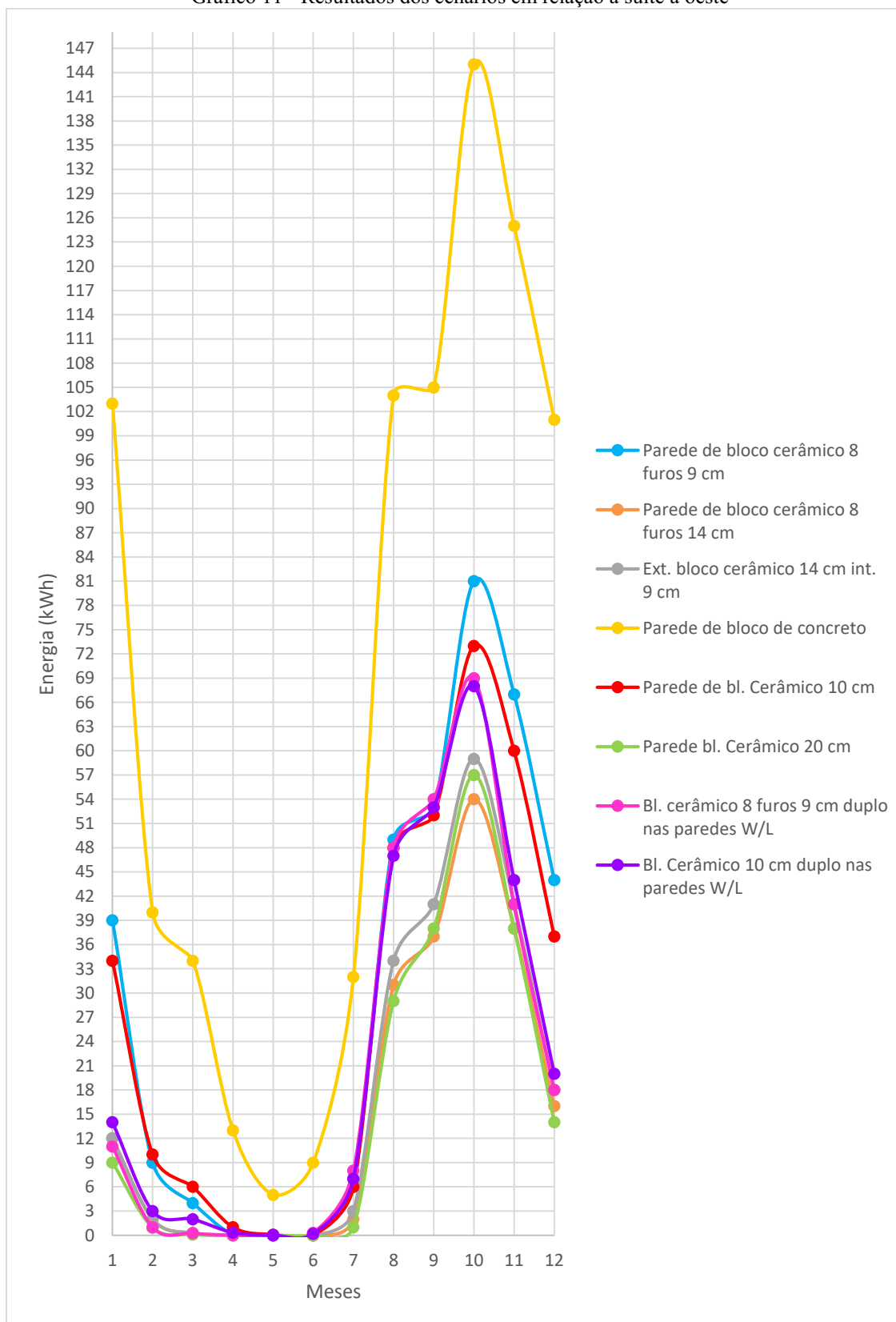
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 10 - Resultados dos cenários em relação à suite à leste



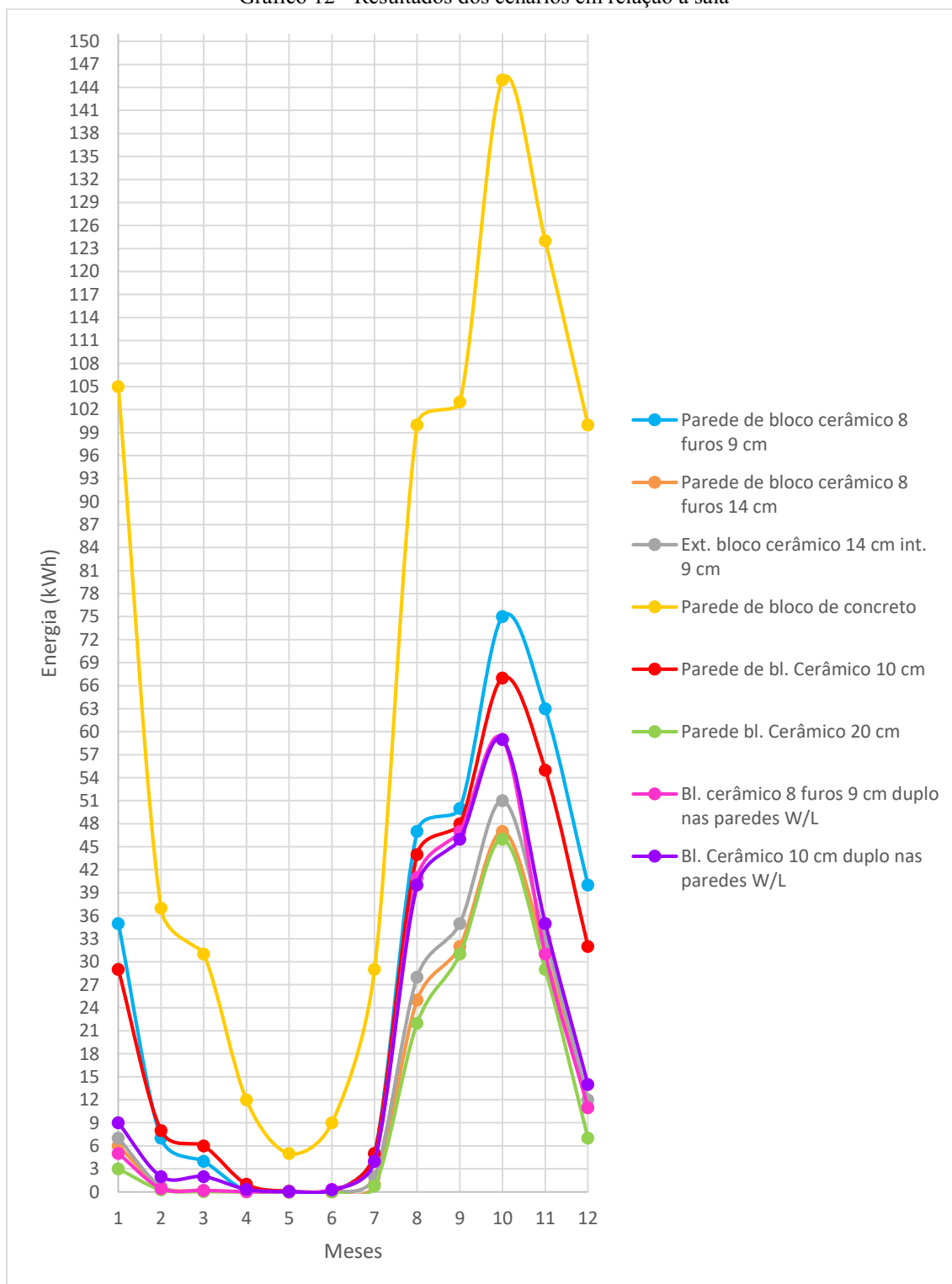
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 11 - Resultados dos cenários em relação à suíte à oeste



Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 12 - Resultados dos cenários em relação à sala



Fonte: Autor, 2019.

A parede de bloco de concreto é a de maior absorção de calor, portanto consome mais energia para resfriar o ambiente. Em todos os cenários é a de maior consumo energético, como esperado.

As paredes de bloco cerâmico de 8 furos de 9 cm e a de bloco cerâmico maciço de 10 cm tiveram melhor desempenho que concreto, mas ainda alto por serem de menor espessura, sendo assim, não são a melhor opção para o local. Já os dois cenários onde foram utilizadas paredes duplas à oeste e leste tiveram resultado de menor consumo que as citadas anteriormente, mas ainda não foram as melhores opções.

Os melhores desempenhos são percebidos na parede de bloco cerâmico de 8 furos (nas externas de 14 cm e nas internas de 9 cm), na parede de bloco cerâmicos 8 furos de 14 cm e na parede de bloco maciço cerâmico deitado, de 20 cm. A maior espessura de parede auxilia na questão da inércia térmica e dissipação de calor, não ocorrendo assim, um consumo de energia elevado.

4.3 Análise dos diferentes tipos de telha

Para analisar diferentes telhas, foi utilizado um mesmo cenário de parede (cenário 01 - bloco cerâmico de 8 furos de 9 cm), modificando o material da telha, antes de cerâmica e agora de concreto. Na Tabela 24 apresentam-se os resultados expostos nos diferentes ambientes comparados com os resultados do cenário 1 e para melhor visualizar a diferença de consumo energético, apresentam-se os resultados de forma gráfica (Gráficos de 13 a 16).

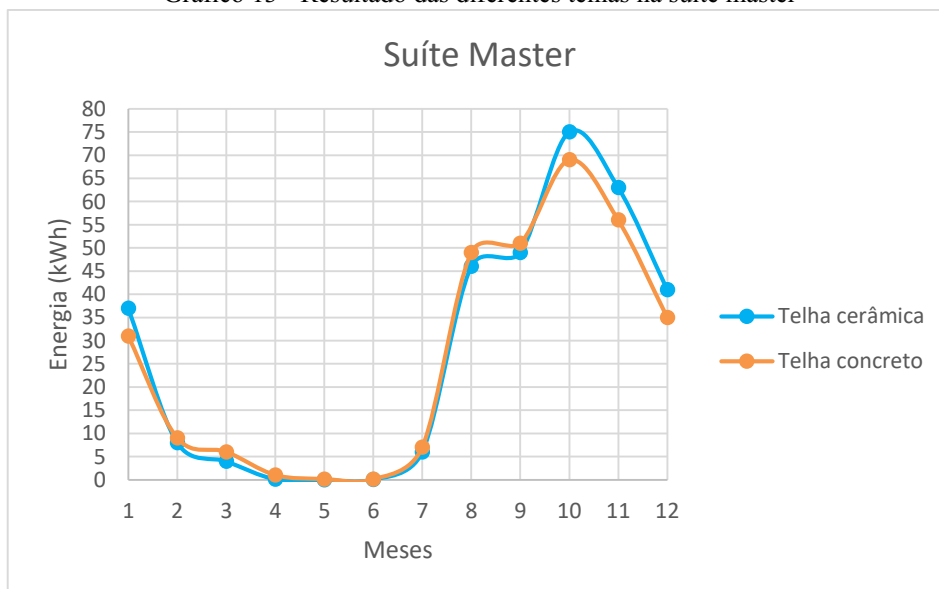
Tabela 24 – Comparativo da telha cerâmica e da telha de concreto

Parede de tijolos 8 furos de 9 cm com telha cerâmica							
Suite Master		Suite à leste		Suite à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	37	JAN	40	JAN	39	JAN	35
FEV	8	FEV	9	FEV	9	FEV	7
MAR	4	MAR	4	MAR	4	MAR	4
ABR	0,14	ABR	0,15	ABR	0,11	ABR	0,14
MAI	0	MAI	0,01	MAI	0	MAI	0
JUN	0,06	JUN	0,06	JUN	0,01	JUN	0,06
JUL	6	JUL	6	JUL	6	JUL	5
AGO	46	AGO	48	AGO	49	AGO	47
SET	49	SET	51	SET	53	SET	50
OUT	75	OUT	79	OUT	81	OUT	75
NOV	63	NOV	66	NOV	67	NOV	63
DEZ	41	DEZ	44	DEZ	44	DEZ	40
ANUAL	328	ANUAL	348	ANUAL	352	ANUAL	326

Parede de tijolo 8 furos 9 cm com telhado com telha de concreto							
Suite Master		Suite à leste		Suite à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	31	JAN	29	JAN	33	JAN	27
FEV	9	FEV	9	FEV	10	FEV	8
MAR	6	MAR	6	MAR	6	MAR	6
ABR	1	ABR	1	ABR	1	ABR	1
MAI	0,14	MAI	0,14	MAI	0,14	MAI	0,14
JUN	0,08	JUN	0,08	JUN	0,05	JUN	0,07
JUL	7	JUL	7	JUL	8	JUL	6
AGO	49	AGO	48	AGO	52	AGO	48
SET	51	SET	51	SET	55	SET	51
OUT	69	OUT	69	OUT	75	OUT	69
NOV	56	NOV	54	NOV	60	NOV	55
DEZ	35	DEZ	32	DEZ	37	DEZ	32

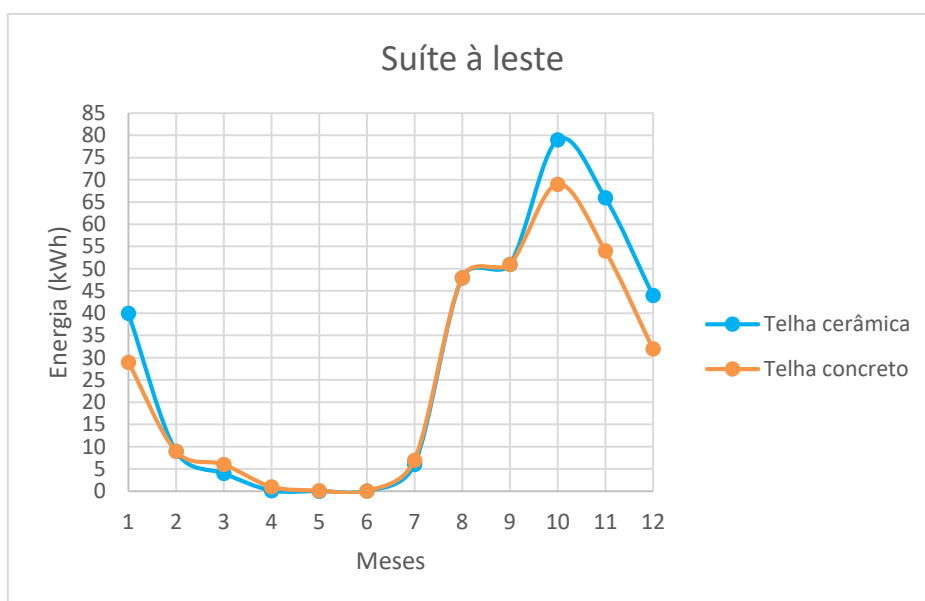
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 13 - Resultado das diferentes telhas na suite máster



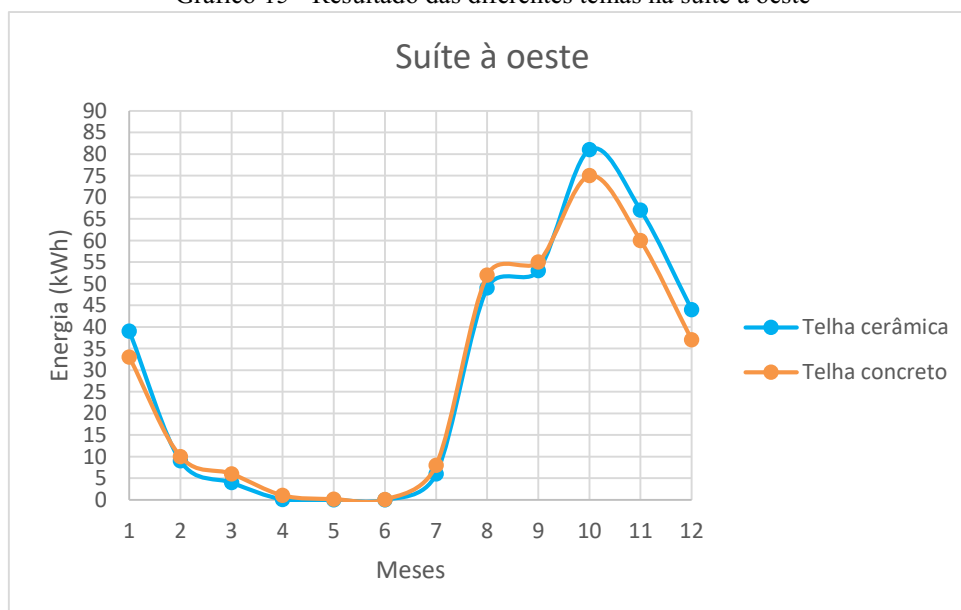
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 14 – Resultado das diferentes telhas na suíte à leste



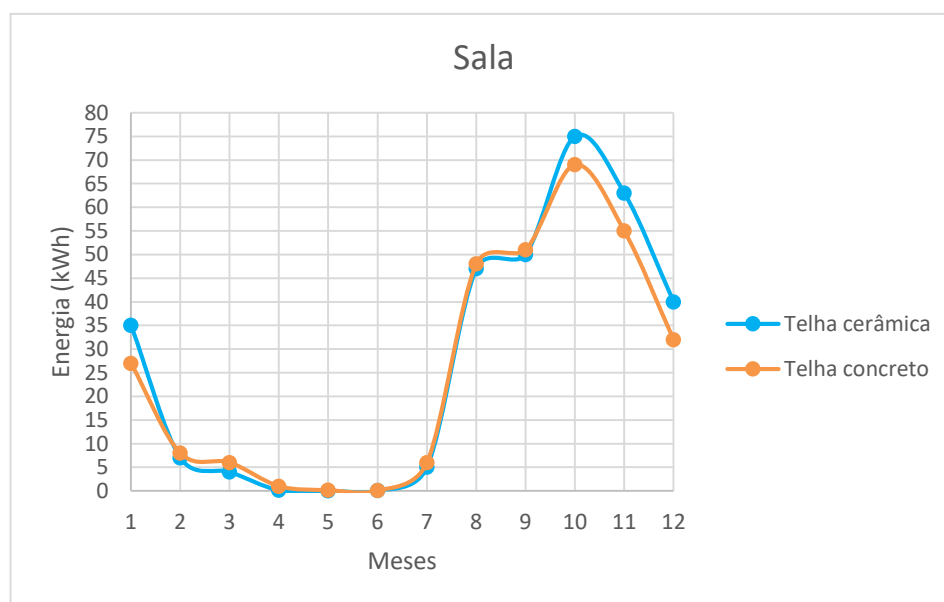
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 15 - Resultado das diferentes telhas na suíte à oeste



Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 16 - Resultado das diferentes telhas na sala



Fonte: Autor, 2019.

Em quase todos os meses os valores de consumo são muito próximos, iguais nos meses de maio, junho e julho, o de concreto é um pouco maior nos meses de março, abril, agosto e setembro. A maior diferença está nos meses de janeiro, outubro, novembro e dezembro, em que a telha de cerâmica leva a um maior consumo de energia. Na suíte à leste os valores chegam a 12 kWh de diferença. Quando se tratam das telhas, o resultado é influenciado também pela cor, portanto o resultado pode ser válido. Para verificar o porquê dessa diferença, seria necessária uma análise de um outro cenário em que a espessuras das telhas sejam iguais, já que, tem-se por bibliografia e pelos resultados energéticos das paredes que o material cerâmico é melhor isolante térmico do que o concreto.

4.4 Melhores resultados e novo cenário

Observando os resultados apresentados no item 4.1, foi criado um novo cenário, o décimo, utilizando o bloco maciço cerâmico deitado de 20 cm nas paredes externas, o qual teve melhor desempenho e no interior bloco cerâmico de 8 furos de 9 cm. A Tabela 25 mostra os resultados de energia desse e o Gráfico 17 mostra a mesma relação do item anterior, que está de acordo, com a suíte à oeste sendo o de maior consumo (28,7%), sendo o resultado o mesmo que o cenário de parede de bloco maciço cerâmico deitado, melhor

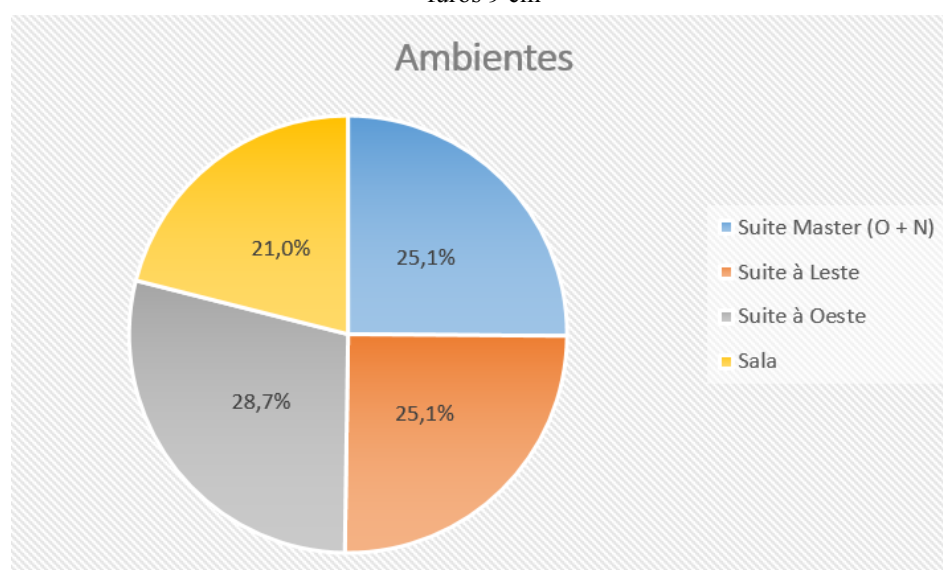
cenário até então e a sala o ambiente de menor consumo (21%), sendo o cenário anterior 0,4% maior do que esse.

Tabela 25 - Resultados de Parede de bloco maciço deitado 20 cm externo e interno bloco cerâmico 8 furos 9 cm

Suíte Master		Suíte à leste		Suíte à oeste		Sala	
MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)	MÊS	ENERGIA (kWh)
JAN	8	JAN	7	JAN	9	JAN	3
FEV	0,75	FEV	0,75	FEV	0,83	FEV	0,21
MAR	0,03	MAR	0,04	MAR	0,09	MAR	0,03
ABR	0,01	ABR	0,01	ABR	0	ABR	0,01
MAI	0	MAI	0	MAI	0	MAI	0
JUN	0,02	JUN	0,02	JUN	0	JUN	0,02
JUL	1	JUL	1	JUL	1	JUL	0,75
AGO	24	AGO	24	AGO	27	AGO	20
SET	32	SET	32	SET	36	SET	29
OUT	46	OUT	48	OUT	53	OUT	43
NOV	31	NOV	30	NOV	36	NOV	26
DEZ	12	DEZ	11	DEZ	13	DEZ	7
ANUAL		ANUAL		ANUAL		ANUAL	
154		154		176		129	

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 17 - Resultados de Parede de bloco maciço deitado 20 cm externo e interno bloco cerâmico 8 furos 9 cm



Fonte: Autor, 2019.

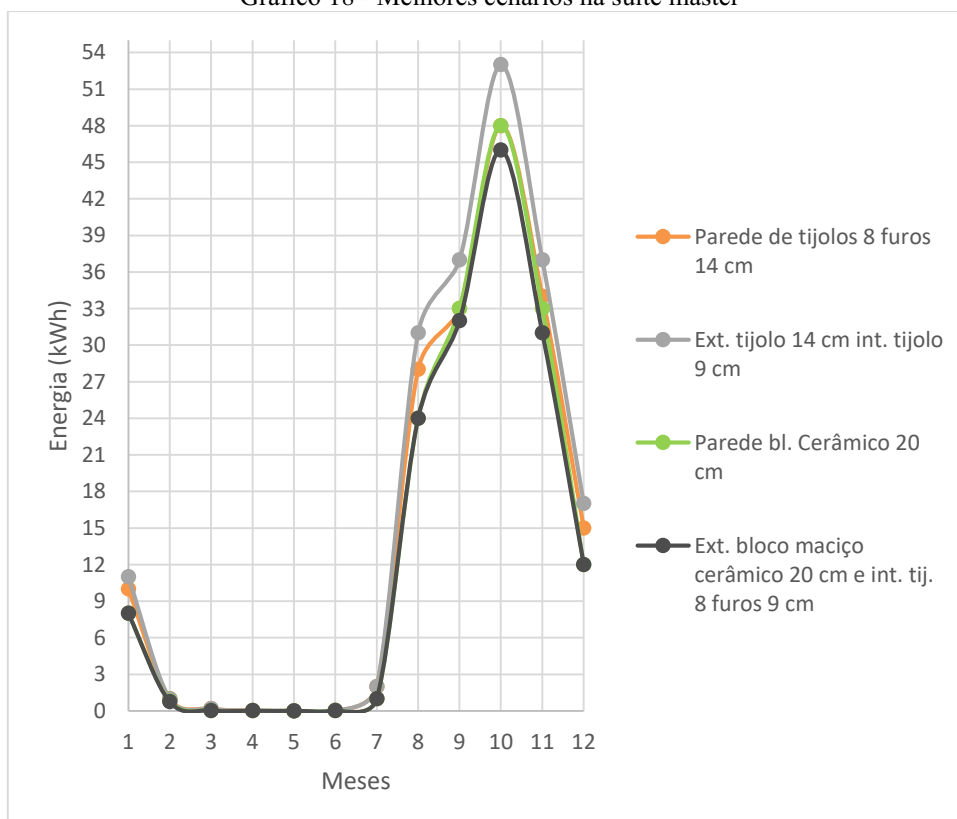
Nos Gráficos 18 a 21 apresenta-se uma comparação dos cenários com melhores desempenhos. Neles, pode-se verificar que em todos os ambientes desse último cenário tem-se energia menor do que os demais, chegando a 20,6% a menos na suíte à oeste em agosto em relação ao cenário de parede externa de bloco cerâmico 14 cm e interna 9 cm; 20% a menos na sala em agosto em relação ao cenário de parede de bloco cerâmico de 14

cm; 7% a menos na suíte máster em outubro em relação ao cenário de bloco cerâmico maciço deitado. O ambiente com melhoria mais perceptível foi a sala durante esse mesmo mês, o mais crítico do ano. Nas suítes o resultado foi praticamente igual ao cenário com parede de bloco cerâmicos de 8 furos de 14 cm, exceto no mês de agosto, que teve melhor desempenho.

Quando comparado com o cenário da parede externa de bloco cerâmico 8 furos de 14 cm e interna de 9 cm, o cenário mais parecido com este décimo, há uma melhoria clara, já que aumenta a espessura e a densidade do material da parede externa, que traz uma inércia térmica maior ao cenário, melhorando seu desempenho.

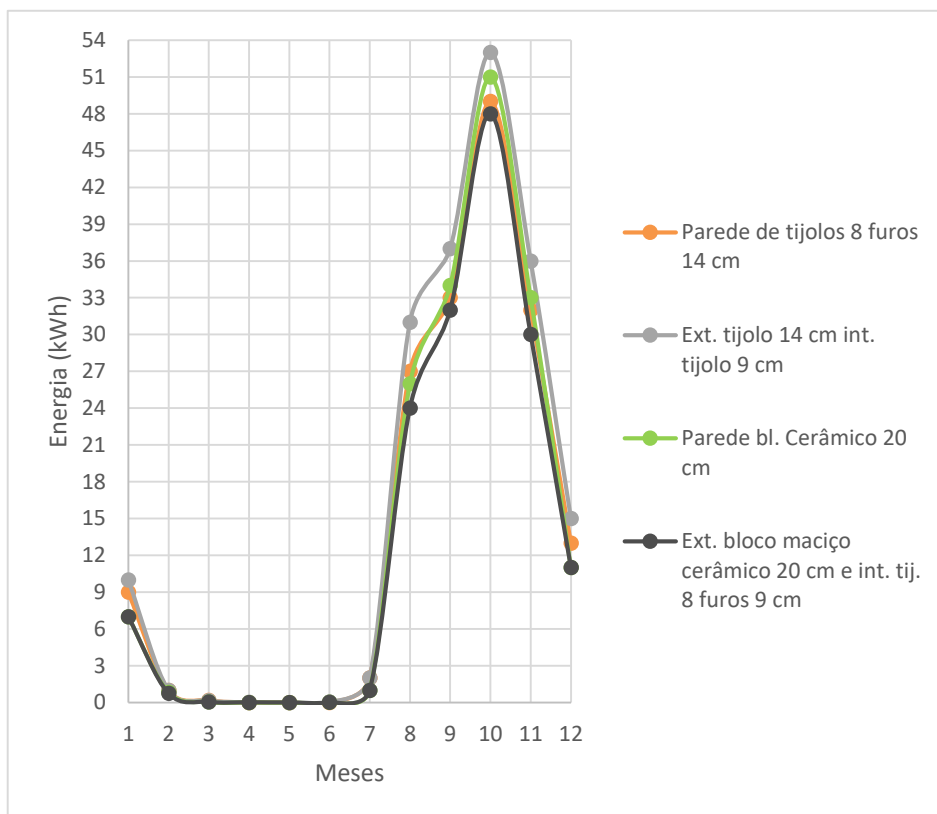
Já no caso da mudança das paredes do interior, comparando o caso anterior de parede externa de bloco maciço cerâmico de 20 cm e interno de 10 cm e este novo, de parede interna de bloco cerâmico 8 furos com 9 cm, o primeiro tem melhor desempenho, principalmente na sala e nas suítes à leste e à oeste.

Gráfico 18 - Melhores cenários na suíte máster



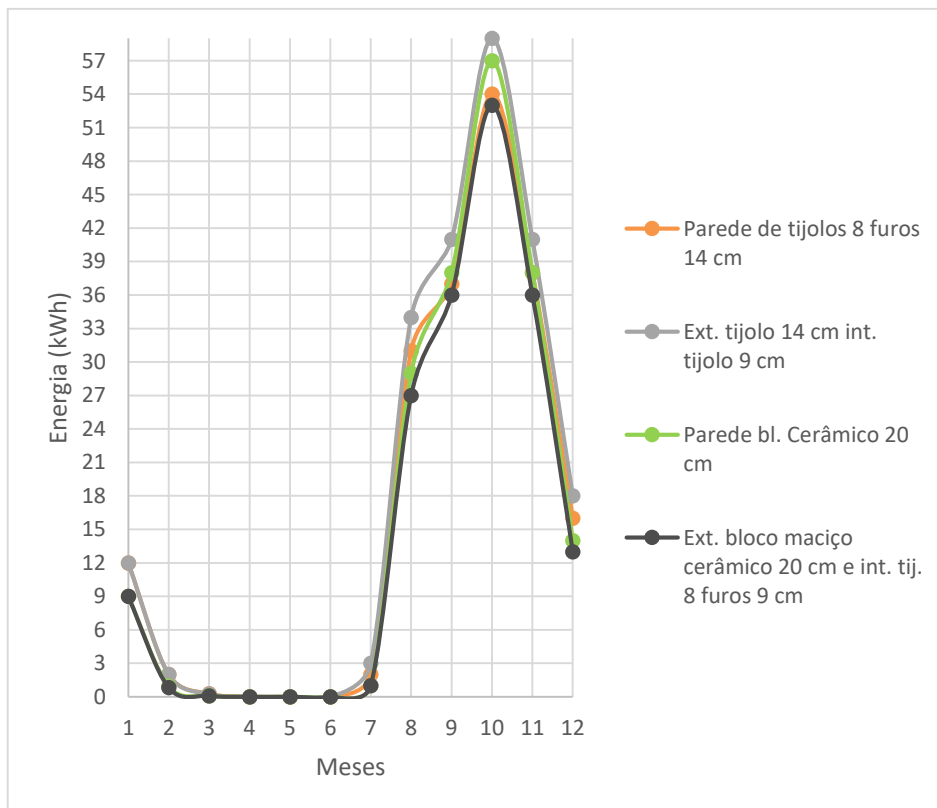
Fonte: Autor, 2019

Gráfico 19 - Melhores cenários na suíte à leste



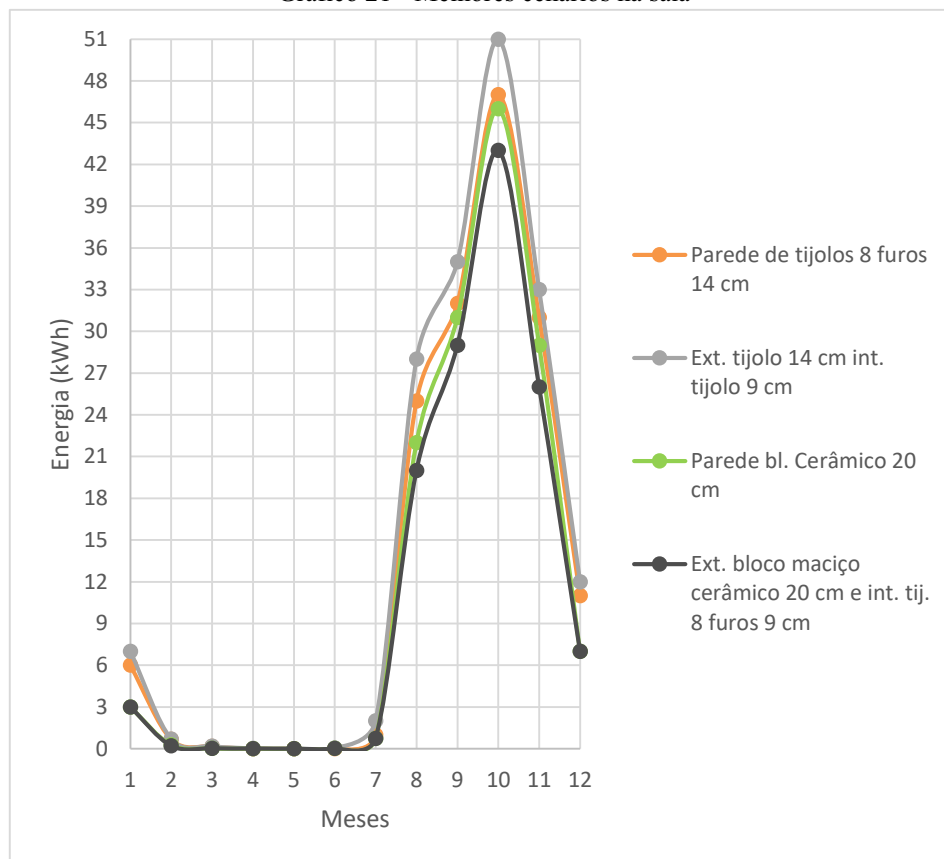
Fonte: Autor, 2019

Gráfico 20 - Melhores cenários na suíte à oeste



Fonte: Autor, 2019

Gráfico 21 - Melhores cenários na sala



Fonte: Autor, 2019

5. CONCLUSÃO

O principal objetivo desse trabalho foi analisar as alternativas construtivas de parede em uma residência unifamiliar. Por meio dos resultados é perceptível que existem outros fatores que também vão influenciar esse valor de energia. Observando apenas o caminho do sol, esperava-se um resultado energético maior da suíte máster, que é voltada a oeste e a norte e o menor da suíte 2, completamente voltada à leste, o que não ocorreu.

Um fator que faz com que os resultados sejam diferentes do previsto é a disposição dos ambientes. A parede, da suíte máster, voltada para o norte auxilia na dissipação do calor recebido pela parede à oeste, o que não ocorre nas suítes 1 e 2, que só possuem uma parede externa, voltada à oeste ou à leste, respectivamente, e não tem como dissipar esse calor para o exterior, e com isso, consumindo mais energia do que a anterior na maioria dos cenários.

Outro fator são as aberturas, os quartos tem aberturas em menor tamanho e quantidade que o espaço da sala; que, apesar de bem maior e ter parte voltada para o oeste, é a zona que menos consome energia por ter mais espaços de dissipação do calor absorvido do sol.

No estudo dos materiais de telhado era esperado um resultado parecido com o da parede, por ser de materiais similares, porém, observou-se que nos meses de outubro a janeiro, a telha de concreto consumia menos energia que a de cerâmica. Nos outros meses houve um melhor resultado dessa última tipologia; mas, considerando o clima tropical e a zona da cidade analisada, o resultado de maior relevância são nos meses de maior calor. O resultado pode não ser considerado concreto, pois o fato das telhas terem espessuras diferentes interfere na inércia térmica. Seria necessária uma análise de outro cenário em que a espessuras e cor das telhas sejam iguais para ver se é comprovado o fato do material cerâmico ter melhor desempenho energético já que quando se tratam das telhas, o resultado é influenciado também pela cor, portanto o resultado da telha de concreto ter melhor desempenho pode ser válido.

Do cenário com parede de concreto, este sistema construtivo tem maior consumo energético do que as alvenarias com materiais cerâmicos, concluindo-se assim, que o modelo de alvenaria em concreto está longe do ideal para uma residência em clima tropical de zona bioclimática 4.

Com as paredes de bloco cerâmico de 8 furos de 9 cm e de bloco maciço cerâmico em pé, de 10 cm, foi observado resultado alto de consumo de energia devido a espessura fina dos componentes.

Nos cenários em que foram utilizadas paredes duplas à oeste e a leste obteve-se um resultado bom, não chegando aos melhores cenários mas de consumo bem menor que o cenário com concreto, chegando os dois cenários a ter 53,4% a menos de gasto na suíte à oeste em outubro, e o cenário duplicado de bloco cerâmico maciço, comparado a parede de bloco cerâmico de 9 cm, um resultado 74,3% melhor em janeiro na sala. A duplicação em apenas duas direções, mesmo que sendo as mais críticas não levou ao melhor desempenho, tendo os dois, diferença de 21,7% a mais do que o melhor cenário na suíte oeste em outubro que foi a parede de bloco cerâmico de 14 cm, mesmo tendo uma espessura bem maior nas duplicações. Deve-se levar em consideração também que tal fator leva a maior gasto financeiro, por se tratar de camada dupla de parede.

Os três melhores resultados analisados para paredes foram de bloco cerâmico 8 furos de 14 cm interna e externamente, de 14 cm nas paredes externa e 9 cm nas paredes internas e o melhor cenário, de bloco maciço cerâmico deitado, de 20 cm. Observa-se novamente que a espessura está diretamente ligada ao desempenho térmico dos ambientes nessa zona bioclimática, o que confirma a recomendação da norma NBR 15575:2013, de paredes mais espessas para melhor desempenho térmico.

Com os resultados iniciais, decidiu-se por um novo cenário, o de bloco maciço cerâmico deitado, no exterior, e de bloco cerâmico 8 furos de 9 cm no interior; o que, conseqüentemente, apresentou o melhor resultado de todos os anteriores, sendo a opção mais favorável para a residência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003. Norma Brasileira NBR 15.220 - Edificações Habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro.

____**NBR 15.575** – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. ASHRAE STANDARD 90-1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, 2016.

DANTAS, P.R; SANTOS, L.G.R. Análise da Eficiência Energética e do Conforto Térmico no Instituto de Química da Universidade de Brasília. Monografia de Projeto Final – Segunda Etapa, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 77p. 2014.

DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS: GUIA ORIENTATIVO PARA ATENDIMENTO À NORMA ABNT NBR 15575/2013./ Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC). – Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

DESIGNBUILDER. Disponível em: <<https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>>. Acesso em: 06/2019.

FROTA, ANÉSIA BARROS. Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo/ Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer. – 5. Ed. – São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GREEN BUILDING STUDIO. Autodesk Green Building Studio. Disponível em: <<https://gbs.autodesk.com/GBS/>>. Acesso em: 11/2019.

GUIA 5 – AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO EM PROJETOS BIM. Avaliação de desempenho energético em Projetos BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. – Brasília, DF: ABDI, 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_g raf>. Acesso em: 11/2019.

INTERNATIONAL STANDARD. ISO 17772-1. Energy performance of buildings – Indoor environmental quality – Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings. ISO copyright office. Geneva, Switzerland, 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência Energética na Arquitetura. Editora ELETROBRAS/PROCEL. Ano: 2014. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/publicacoes/livros>>. Acessado em 06/2019.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico. Florianópolis: UFSC/LabEEE, 2010. v.1. 123 p.

MACIEL, A. C. F. (2013). Energia Incorporada de Fachadas Ventiladas. Estudo de Caso para Edificação Habitacional em Brasília-DF. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-018A/13, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 146p.

MACIEL, A. C. F. (2018). Análise da Demanda Energética para Climatização de Fachadas Ventiladas para Regiões Climáticas Brasileiras. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD - 008A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 264p.

MOURA, M. de; MOTA, A. L. T. S. da. O Fator Energia na Construção Civil. Artigo para o IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 14 p, 2013.

NEMER, P. C. da C. Avaliação do sistema construtivo paredes de concreto moldado no local a luz das normas técnicas vigentes. 2016. 106 f. TCC (Especialização) - Curso de Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído, Departamento de

Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

ROMERO, M. A.; RODRIGUES, E. J., 2009. Evento abre caminho para construção de Zero Energy Building; Sistemas Prediais, São Paulo, V. 2, p.inicial 39, p.final 40, ISSN: 1981-4240.

SÁ, J.A.R.; OLIVEIRA, N.S. Análise de desempenho térmico nos edifícios residenciais da Colina Velha. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 80 p. 2015.

SASAZAKI. Portas e Janelas. Disponível em:
<<https://www.sasazaki.com.br/arquivos-bim>>. Acesso em: 10/2019.

SORGATO, M. J.; MARINOSKI, D. L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2012. Disponível em:
<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/notas_tecnicas/NT_15575_FINAL.pdf>. Acesso em: 10/2019.

OLIVEIRA, R. B. Avaliação de desempenho térmico do sistema de vedação vertical de habitações de interesse social para atendimento da ABNT NBR 15575:2013. Monografia de projeto final, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 74p. 2017.

PROJETEEE. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em:
<<http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos/>>. Acesso em: 10/2019.