



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AValiação de Desempenho Térmico da Envoltória de Residência Unifamiliar

Lizzie Monique Pulgrossi (1); Leticia de Oliveira Neves (2)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, l208148@dac.unicamp.br

(2) Professora Doutora do Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, leticia@fec.unicamp.br, Universidade Estadual de Campinas, Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária, Campinas, SP, CEP 13083-889, tel. (19) 3521-2384

RESUMO

O bom desempenho térmico da envoltória de uma edificação frente a um determinado perfil climático é essencial para reduzir o uso de sistemas artificiais de climatização sem afetar o conforto térmico dos usuários. Este artigo tem como objeto de estudo uma residência situada na cidade de Campinas-SP, de clima tropical de altitude (tipo Cwa), cujo projeto foi elaborado considerando a busca pelo alto desempenho e baixo impacto ambiental, com paredes externas e laje em *Cross Laminated Timber* (CLT), cobertura em telha metálica sanduíche e vidros de baixo fator solar (FS: 0,26). Realizou-se uma análise paramétrica dos resultados obtidos por simulação computacional com o software *EnergyPlus*, considerando quatro cenários de métodos e materiais de construção para a envoltória, comumente utilizados em construções residenciais da região: paredes externas em bloco cerâmico e laje em concreto; cobertura em telha cerâmica; vidro incolor comum e pintura branca nas paredes externas. Pelos resultados, pôde-se notar que o desempenho térmico do sistema de paredes externas em bloco cerâmico e laje em concreto superou o sistema de paredes e laje em CLT do projeto original, reduzindo em 40% os graus-hora de resfriamento. Os sistemas de cobertura em telha sanduíche e em telha cerâmica apresentaram respostas térmicas semelhantes e a pintura externa na cor branca gerou pouca influência no desempenho térmico deste estudo de caso. O uso do vidro incolor comum nas aberturas fez com que a temperatura operativa da área social (sala/cozinha) ultrapassasse em 9,4 °C o limite da zona de conforto térmico do modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2017), demonstrando desempenho inferior ao do vidro seletivo do projeto original e a necessidade do uso de estratégias adicionais de proteção solar das aberturas.

Palavras-chave: eficiência energética, envoltória, *cross laminated timber*, telha sanduíche, edifício residencial

ABSTRACT

A building envelope with high thermal performance for a certain type of climate is necessary to reduce the use of mechanical air conditioning without affecting the thermal comfort of users. This paper used as a case study a residence located in the tropical climate (type Cwa) of the city of Campinas-SP. The original design considered the use of a constructive system (walls and slab) in cross laminated timber (CLT), roof in insulated metal tiles and glazing with low solar heat gain coefficient (SHGC: 0.26). Computer simulations using the EnergyPlus software were performed considering four other scenarios of different envelope materials, commonly used in local residential construction: exterior walls in ceramic blocks and concrete slab and roof in ceramic tiles, single-glazed with clear glass and white coating on exterior walls. The results demonstrated the high thermal performance of the ceramic block with concrete slab system, when compared to the CLT system, reducing the need for cooling per year by 40%. The ceramic roof tile and the insulated metal tiles presented similar thermal behavior and the white coating presented low influence on the thermal performance of the case study. The single-glazed with clear glass demonstrated the lowest performance of this study, overcoming the thermal comfort zone limit of the adaptive model of ASHRAE 55 (2017) by 9.4 °C, showing the necessity of exterior solar protection.

Keywords: energy efficiency, envelope, cross laminated timber, insulated metal tile, residential building

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de construir residências energeticamente eficientes tange questões relacionadas a desempenho térmico e uso de técnicas passivas de climatização, impulsionando o desenvolvimento de materiais de “alto desempenho” no mercado da construção civil. Para avaliar o desempenho dos materiais de construção é essencial o estudo e entendimento de suas propriedades térmicas e o comportamento dos sistemas e materiais frente ao clima. A envoltória da edificação é o sistema diretamente impactado pela carga térmica da radiação solar (DORNELLES; RORIZ, 2007), sendo composto por materiais opacos e translúcidos.

Dentre as alternativas de materiais opacos existentes para fechamento vertical encontra-se o *Cross Laminated Timber* (CLT ou Madeira Laminada Cruzada) utilizado na composição de paredes externas e internas, pisos e lajes em construções residenciais, comerciais e industriais. O CLT é um material consolidado no mercado europeu e nos últimos 10 anos tem ganhado o mercado brasileiro (OLIVEIRA, 2015). De acordo com especificações do produto divulgadas por um fabricante, o CLT possui alto desempenho térmico, reduzindo para um terço o uso de energia para aquecimento ou resfriamento, quando comparado à alvenaria tradicional, sendo ideal para edificações de condicionamento térmico passivo (CROSSLAM, 2019). O fabricante, no entanto, não contextualiza as informações divulgadas.

As pesquisas realizadas para avaliar o desempenho termoenergético do CLT concentram-se na Europa, por meio de simulações em estudos de caso de edificações localizadas em climas frios e mediterrâneos. Os resultados apresentados por Nocera, Gagliano e Derommaso (2018) concluem que a configuração do envelope estudado, composto por CLT, mesmo sob temperaturas amenas, não atende ao conforto térmico no período de verão, devido ao aumento da resistência térmica dos painéis de madeira em decorrência do uso de isolantes térmicos, fazendo com que a construção fique superaquecida quando sistemas de climatização artificial não são utilizados. Em seus estudos, Giglio (2005) informa que a madeira possui, como característica, baixa inércia térmica permitindo que a temperatura interna varie conforme a temperatura externa, sendo este o principal motivo para o desconforto térmico de habitações em madeira na região sul do país. Os resultados simulados obtidos por Stazi (2014), ao comparar termicamente envoltórias em madeira, madeira-cimento e alvenaria, indicam que materiais com maior massa térmica apresentam melhor comportamento em climas quentes, reduzindo a temperatura interna do ambiente, ainda que aumentando a umidade relativa do ar interno.

Dentre os elementos opacos da envoltória utilizados na cobertura de edificações encontram-se as telhas metálicas sanduíche, já consolidadas no mercado brasileiro, usadas como alternativa para as tradicionais telhas cerâmicas. É uma telha de material leve, composta por uma camada de isolante térmico que garante alta resistência térmica do conjunto. Akutso, Brito e Chippe (2012) citam a tendência atual de inserir materiais isolantes em componentes pré-fabricados, com a intenção de aumentar o desempenho térmico do produto, mas negligenciando as demais propriedades térmicas que influenciam e delinham o comportamento final do componente construtivo frente aos estímulos climáticos. Através da pesquisa conduzida por Dias (2011) é possível observar o comportamento térmico de diferentes tipologias de telhas metálicas nas zonas bioclimáticas brasileiras, indicando o uso de telha sanduíche para edificações em climas com maior amplitude térmica diária.

Como elemento translúcido da envoltória, as propriedades térmicas do vidro estão diretamente ligadas ao ganho e perda de calor por radiação, destacando-se o fator solar, que facilita a comparação de desempenho entre produtos, salientando os que oferecem menor sobreaquecimento do ambiente interno, sendo disponibilizados no mercado diversas composições e alternativas frente ao vidro incolor comum (WESTPHAL, 2016).

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é comparar o desempenho térmico de materiais de construção alternativos com o desempenho térmico de materiais de construção tradicionalmente utilizados na região de Campinas – SP, por meio da análise de desempenho térmico de um edifício residencial.

3. MÉTODO

Este trabalho foi desenvolvido por meio de simulação computacional, possibilitando observar o comportamento térmico dos materiais de construção previamente selecionados e analisar, de forma paramétrica, a influência de cada componente construtivo sobre o desempenho térmico de um edifício residencial selecionado para estudo de caso. Para a composição dos cenários de estudo foram considerados o

método e a lógica construtiva dos materiais. Assim, o desenvolvimento deste trabalho foi orientado pelas seguintes etapas:

1. Escolha do estudo de caso.
2. Estudo do clima local e definição do período de análise.
3. Definição das propriedades térmicas dos componentes construtivos selecionados para análise.
4. Definição dos cenários de simulação.
5. Análise de resultados.

3.1. Estudo de caso

A residência selecionada como estudo de caso possui 237 m², encontrando-se, no pavimento térreo, três dormitórios, área de serviço, dois banheiros, área de circulação, pátio interno e varanda e, no piso superior, que fica no nível de acesso à rua, a área social da sala e cozinha, além de um banheiro, quarto de despejo, varanda de entrada e sacada descoberta nos fundos (Figura 1). A fachada de acesso está voltada para Leste e a cobertura é feita com telhado sobre laje e platibanda.

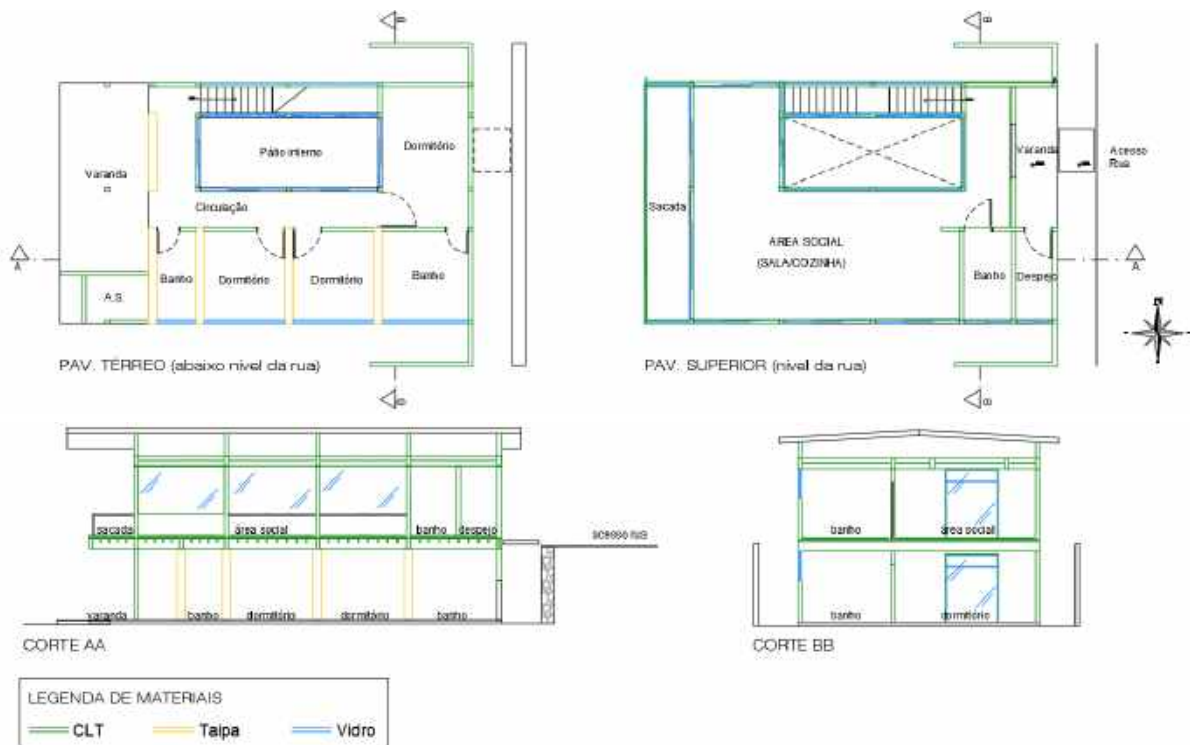


Figura 1 - Planta baixa da residência e cortes esquemáticos

A modelagem da residência foi realizada de forma simplificada por meio do *plugin* Euclid 8.7, seguindo o zoneamento térmico definido conforme Figura 2. No total, foram modeladas dez zonas térmicas. Elementos como beiral, sacada, passarela e muros de contenção mais próximos foram tratados como elementos de sombreamento externos (Figura 3). Devido à inexistência de edificações laterais vizinhas e a edificação vizinha ao fundo do lote não gerar interferências no estudo de caso, o entorno foi desconsiderado da modelagem.

A zona 9, com 78,30 m², foi selecionada para realização das análises, por estar em contato direto com a cobertura, possuir aberturas para todas as orientações solares, ter contato direto com todas as zonas térmicas (exceto com a zona 5) e por possuir uma alta carga interna, se comparada aos demais ambientes.

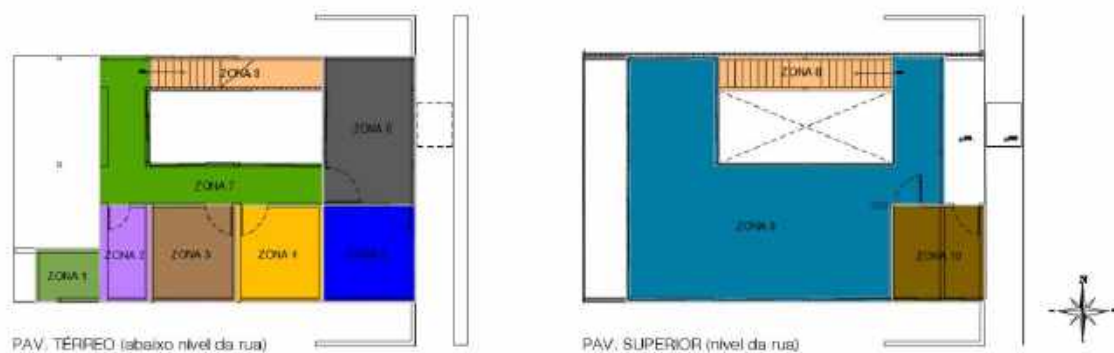


Figura 2 - Zoneamento térmico.

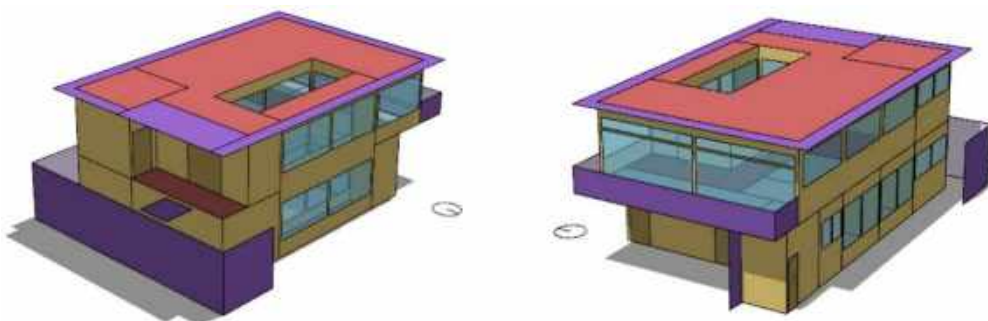


Figura 3 - Modelagem da residência no *plugin* Euclid.

A residência estudada é construída em estrutura em madeira, fechamento externo em placas de madeira do tipo *Cross Laminated Timber* (CLT), divisórias internas em CLT e taipa de pilão, laje em CLT entre os pavimentos e na cobertura, cobertura em telha sanduíche em aço galvanizado com poliuretano (PU), piso em concreto e janelas com vidro laminado de baixo fator solar. As paredes internas e externas não receberam pintura, mantendo a cor original do material (madeira ou barro). A Tabela 1 apresenta as propriedades térmicas dos materiais de construção que configuraram o modelo analisado.

Tabela 1- Propriedades térmicas dos materiais componentes do cenário base.

Materiais translúcidos				
Sistema	Composição	Transm. luz visível	Fator solar	--
Janelas	Vidro laminado com incolor 8 mm (Guardian neutral 14 clear)	0,16	0,26	--
Materiais opacos				
Sistema	Composição	Transm. térmica (W/m ² K)	Cap. térmica (kJ/(m ² K))	Absort. superfície externa (α)
Paredes externas	Madeira Pinus - CLT de 15 cm	0,80	172,50	0,70
Paredes internas	Madeira Pinus - CLT de 15 cm	0,80	172,50	0,70
	Taipa de pilão – 30 cm	3,50	552	0,70
Piso térreo	Laje maciça em concreto de 15 cm	3,90	360	0,70
Laje	Madeira Pinus - CLT de 15 cm	0,80	172,50	0,70
Cobertura	Telha metálica sanduíche com PU de 26 mm + câm. ar descendente + laje CLT	0,40	132,00	0,25

3.2 Localização climática e período de análise

A residência selecionada para estudo de caso situa-se na cidade de Campinas – SP, de clima tropical de altitude (tipo Cwa, segundo classificação de Köppen) e pertencente à zona bioclimática brasileira nº 3, conforme a NBR 15220 (2005), cujas estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas compreendem a ventilação cruzada através de aberturas medianas e sombreadas durante o verão e uso de paredes externas e coberturas leves, mas com paredes internas de maior inércia térmica. O gráfico de análise

climática disponibilizado através do *software* EPview (Figura 4), demonstra que o clima da região apresenta grande amplitude térmica diária em verões quentes e invernos amenos.

Por meio do arquivo climático da cidade, no formato *Typical Meteorological Year* (TMY), disponibilizado pelo INMET (2018), foi possível verificar os dias mais frios e mais quentes do ano. Seguindo as recomendações apresentadas na NBR 16401 (2008) quanto ao uso da referência de 1% (verão) e 99% (inverno) para extração do Dia de Projeto (*Design Day*), foram encontrados os dias 09 de julho e 10 de outubro como referências para a realização da análise. Estes dias, representativos de verão e de inverno, direcionaram a seleção de uma semana representativa de verão e uma semana representativa de inverno para a realização das análises dos resultados obtidos neste estudo (Tabela 2).

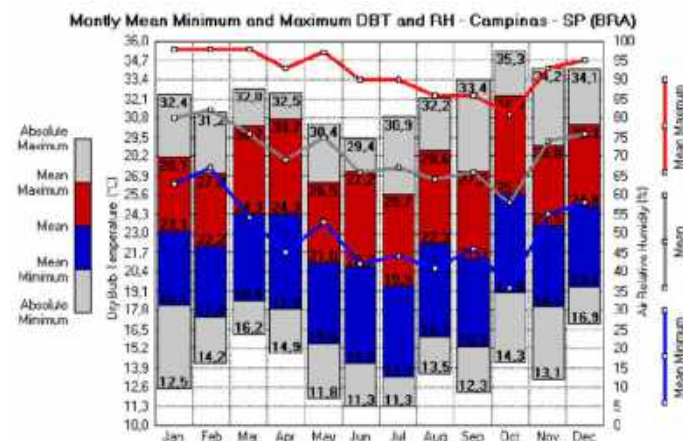


Figura 4 - TBS e UR médias mensais da cidade de Campinas - SP. Fonte: EPVieW (RORIZ; RORIZ, 2015)

Tabela 2 - Dias e períodos selecionados para análises de verão e de inverno.

Estação climática	INVERNO	VERÃO
Referência	99%	1%
Dia Representativo	09 de julho	10 de outubro
Semana Representativa	08 a 14 de julho	08 a 14 de outubro

3.3 Cenários de simulação

Para compor os cenários de simulação foram observados e selecionados tanto os materiais quanto os métodos de construção tradicionalmente utilizados na construção civil residencial paulista (SATO, 2011), sendo eles, janelas em vidro laminado comum, sistema de construção de paredes em alvenaria (bloco cerâmico furado 14x19x29 cm revestido com argamassa de concreto em ambos os lados) e laje maciça em concreto, telha cerâmica na cor natural e pintura das paredes externas na cor branca. Os cenários trabalhados, são descritos abaixo e as propriedades térmicas dos materiais selecionados são apresentadas na Tabela 3.

- Cenário 1 (C1) – Alterado o tipo de vidro, observando o fator solar.
- Cenário 2 (C2) – Alterada a composição do sistema construtivo de paredes e laje para um sistema tipicamente utilizado na região, observando a transmitância e a capacidade térmicas.
- Cenário 3 (C3) – Alterada a composição das telhas de cobertura, observando a transmitância e a capacidade térmicas.
- Cenário 4 (C4) – Alterada a cor das paredes externas, observando a absorvância.

Tabela 3 - Propriedades térmicas dos materiais dos cenários de simulação.

Materiais translúcidos					
Cenário nº	Sistema	Composição	Transmit. luz visível	Fator solar	--
C1	Janelas	Vidro laminado incolor 8 mm	0,90	0,87	--
Materiais opacos					
Cenário nº	Sistema	Composição	Transm. térmica (W/m²K)	Cap. Térmica (kJ/(m²K))	Absort. (α)
C2	Paredes e laje	Bloco cerâmico de 14 cm com argamassa de concreto de 2,5 cm int. e ext.	1,90	148,90	0,70

		Laje maciça de concreto de 15 cm	3,90	360	0,70
C3	Cobertura	Telha cerâmica (barro) de 10 mm + cam. ar descendente + laje CLT	0,70	139,00	0,70
C4	Pintura externa	Cor branca	-	-	0,20

3.4 Simulações computacionais

As simulações foram realizadas por meio da ferramenta computacional EnergyPlus v.8.9.0. A determinação da carga térmica interna foi embasada no novo método de avaliação energética de edificações do PROCEL Edifica – RTQ-R (CB3E,2018), que estabelece a potência de iluminação por área e os equipamentos mínimos a serem considerados nos principais ambientes residenciais (dormitório e sala), assim como o número de pessoas e sua atividade metabólica. A Tabela 4 apresenta os parâmetros considerados para as Zonas 3, 4 e 6 (dormitórios) e Zona 9 (sala/cozinha), sendo esta última escolhida para a análise dos resultados. Para as demais zonas foi considerado apenas carga de iluminação (5 W/m²).

Tabela 4 - Carga total interna por zona.

	Zona 3 (Dormitório)	Zona 4 (Dormitório)	Zona 6 (Dormitório)	Zona 9 (Sala/Cozinha)
Iluminação	5 W/m ²	5 W/m ²	5 W/m ²	5 W/m ²
Equipamentos	0 W	0 W	0 W	120 W
Ocupação	6 m ² /pessoa	6 m ² /pessoa	9,9 m ² /pessoa	19,57 m ² /pessoa
Taxa Metabólica	81 W	81 W	81 W	108 W

Os perfis de uso e ocupação, demonstrados na Tabela 5, foram criados visando uma rotina familiar e separados em dias de semana e dias de final de semana. Para equipamentos foi considerado um perfil de uso conforme estabelecido pelo método PROCEL Edifica (CB3E,2018) (Tabela 6).

Tabela 5 - Padrão de uso de iluminação, ocupação e ventilação

Padrão de uso (%)	Dormitório (Zona 3, 4 e 6)			Sala / Cozinha (Zona 9)			Todos os ambientes	
	Iluminação	Ocupação Dia de Semana	Ocupação Final de semana	Iluminação	Ocupação Dia de Semana	Ocupação Final de semana	Ventilação Dia de semana	Ventilação Final de semana
0	23 h – 5 h 8 h – 20 h	8 h – 20 h	9 h – 20 h	23 h – 15 h	23 h – 13h	23 h – 8 h	--	--
50	--	21 h – 22 h	21 h – 22 h	--	14 h – 17 h 21 h – 22 h	9 h – 13 h 21 h – 22 h	--	--
100	6 h – 7h 21 h – 22 h	23 h – 7 h	23 h – 8 h	16 h – 22 h	18 h – 20 h	14 h – 20 h	14 h – 18 h	8 h – 18 h

Tabela 6 - Padrão de uso de equipamentos para a Zona 9 (Sala/Cozinha)

Hora	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10h	11h	12h
Padrão de uso (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hora	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	24 h
Padrão de uso (%)	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0

A simulação de ventilação natural foi realizada no módulo *AirflowNetwork*. A área de abertura efetiva para ventilação foi considerada como 50% da área total da esquadria, o que corresponde a uma esquadria de correr (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Foram consideradas duas posições de uso das aberturas (totalmente abertas ou totalmente fechadas). O coeficiente de descarga foi considerado como 0,6.

No cenário base e nos quatro cenários modelados foram analisadas as variações das temperaturas de bulbo seco (TBS) internas e externa frente à taxa de radiação solar incidente na envoltória da residência nos períodos selecionados de verão e de inverno, as taxas de troca de calor pelas aberturas, o número de renovações de ar por hora e a carga térmica do ambiente selecionado. Adicionalmente, foram observados os resultados de temperatura operativa (TOp) do ambiente durante as semanas de verão e de inverno escolhidas, comparando-os com os limites estabelecidos pelo modelo adaptativo de conforto térmico (ASHRAE, 2017).

Tais resultados foram utilizados para calcular os graus-hora anuais de aquecimento (GHA) e de resfriamento (GHR).

4. RESULTADOS

Ao observar o comportamento das curvas TBS tanto no período de verão (Figura 5) quanto no de inverno (Figura 6), é possível perceber que o cenário 1 (vidro laminado incolor) resultou em temperaturas internas mais elevadas, principalmente no verão, superando, no horário mais quente, em 1,3 °C a TBS do cenário base (edifício real), que faz uso de vidro com baixo fator solar. Também implicou em um aumento de 4800 W (250%) na carga térmica interna no horário de pico de calor no dia de projeto de verão (Figura 7) e de 4372 W (272%) na carga térmica interna no horário de pico de calor no dia de projeto de inverno (Figura 8), em relação ao cenário base. Ainda que a curva de temperatura operativa do vidro comum (Figura 9) seja a que melhor atenda à zona de temperatura operativa de conforto durante o inverno, por se tratar de grandes panos envidraçados nas fachadas, durante o verão este cenário ultrapassa em 9 °C a temperatura limite da zona de conforto no horário mais quente do dia de projeto. O vidro laminado incolor também apresentou superaquecimento no verão, quando analisados os graus-hora anuais de aquecimento e resfriamento (Figura 10), implicando em 4655 GHR a mais do que o vidro com baixo fator solar.

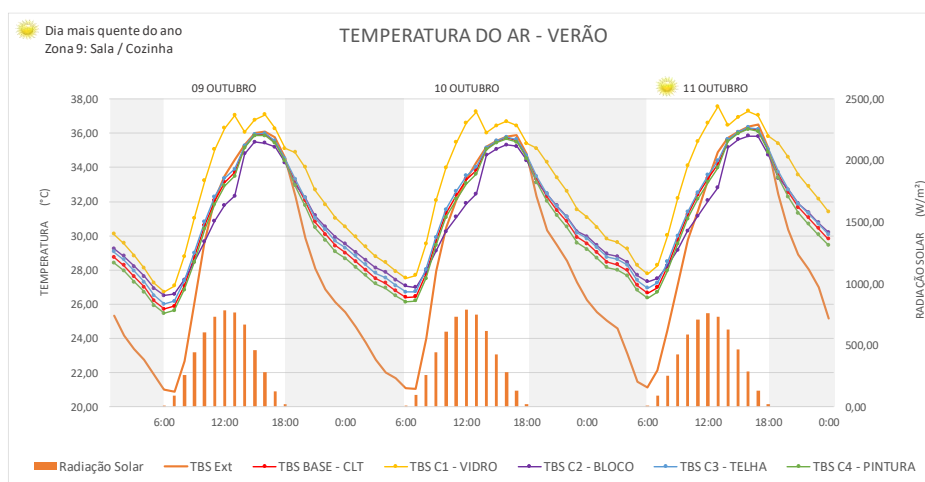


Figura 5 - Período verão: curvas de temperatura do ar externo e internos. Na parte inferior, comportamento da radiação solar.

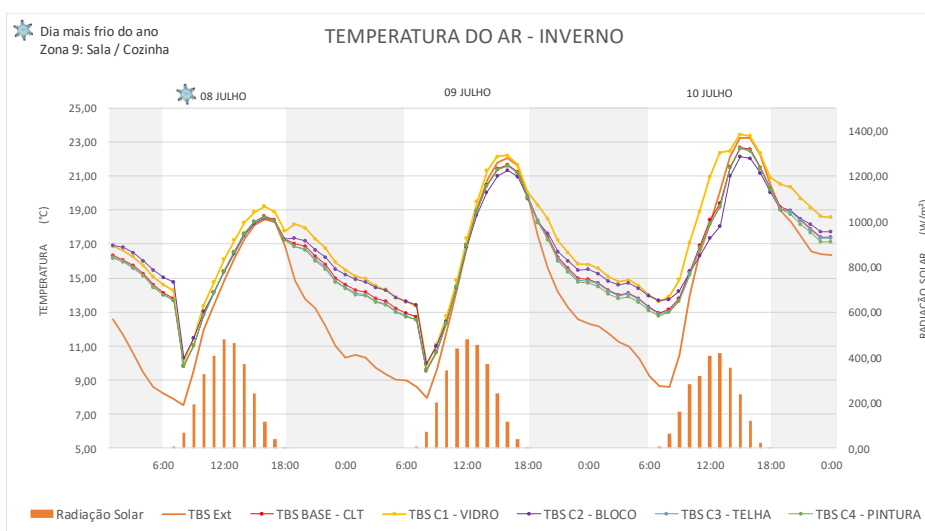


Figura 6 - Período inverno: curvas de temperatura do ar externo e internos. Na parte inferior, comportamento da radiação solar.

As curvas TBS do cenário 2 (paredes em bloco cerâmico e laje em concreto) mostraram menor amplitude térmica da construção, com 8,3 °C no verão e 11,3 °C no inverno, frente ao cenário base com 9,3 °C no verão e 12 °C no inverno nos dias representativos de projeto (Figura 5 e Figura 6). No caso do inverno (Figura 6), a queda de temperatura apresentada no período da manhã dos dois primeiros dias demonstra a influência do padrão de ventilação estabelecido, diferenciando dias úteis e finais de semana. Ao abrir as janelas às 8 h da manhã, há uma queda de 2 a 3 °C na temperatura do ar interno.

A cobertura sofre o maior impacto gerado pela radiação solar, tornando a laje um elemento importante para os resultados de desempenho avaliados. A laje em concreto do cenário 2 possui capacidade térmica (360 kJ/(m²K)) maior que a laje em CLT do cenário base (172,50 kJ/(m²K)), conduzindo o sistema de paredes cerâmicas e laje em concreto a uma melhor resposta térmica frente ao sistema de paredes e laje em CLT, neste estudo. Este comportamento também pôde ser observado nas curvas de temperatura operativa (Figura 7), em que o C2 se aproxima mais das temperaturas da zona adaptativa de conforto, principalmente no horário mais quente do verão. Na análise dos graus-hora anuais (Figura 8), este cenário foi o mais equilibrado entre as necessidades de aquecimento e de resfriamento, reduzindo em aproximadamente 806 GHR (40%) e em 673 GHA (22%) quando comparado com o cenário base em CLT, implicando assim em melhor desempenho térmico.

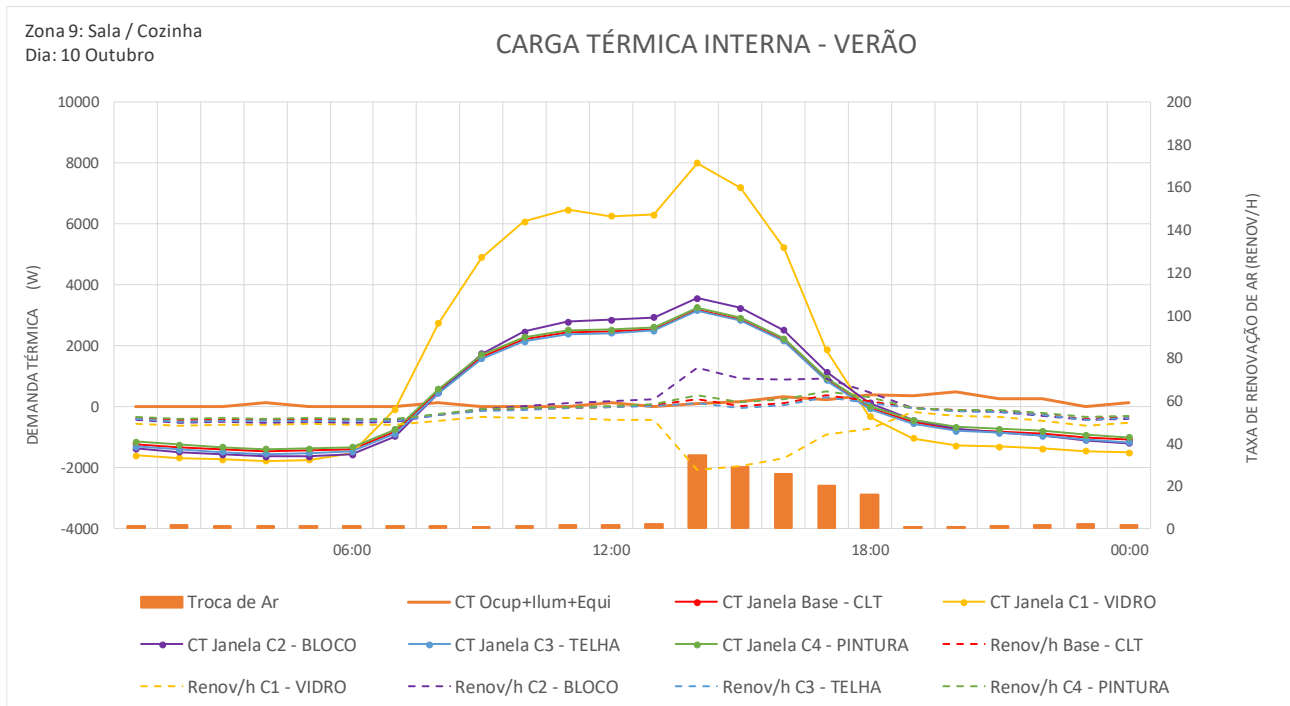


Figura 7 - Período verão: demanda térmica (DT) e da taxa de renovação de ar (renov/h).

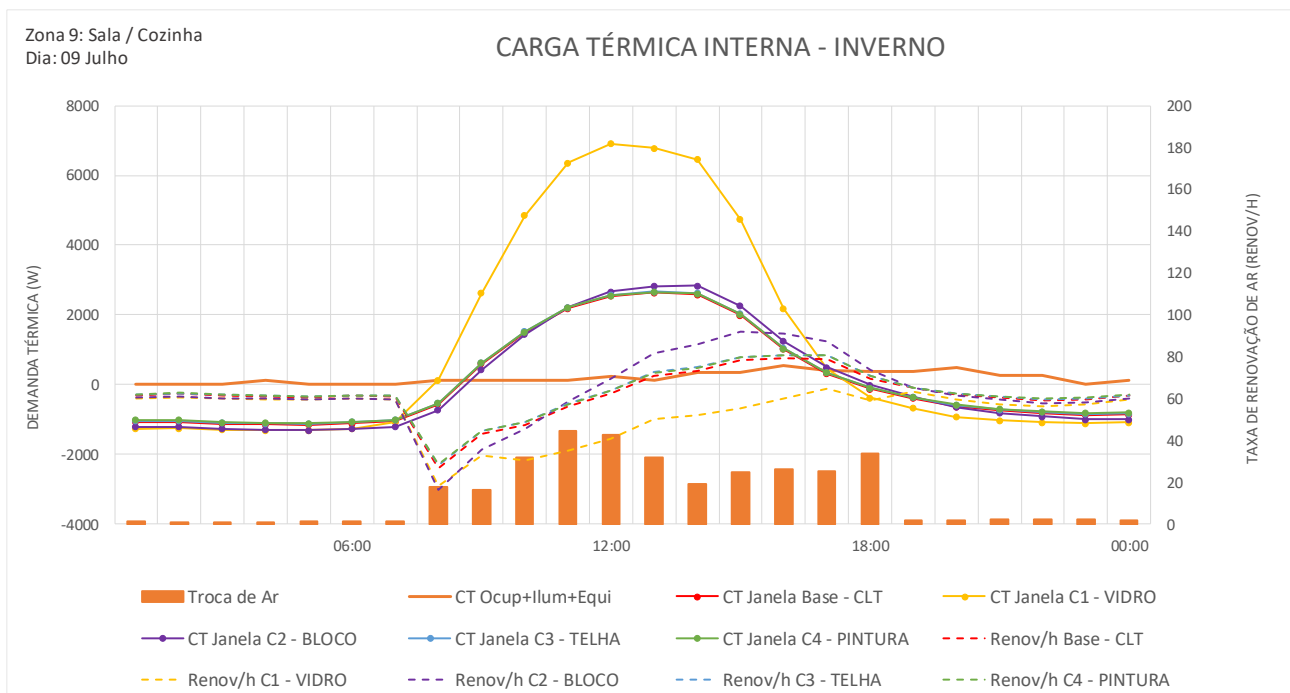


Figura 8 - Período inverno: demanda térmica (DT) e da taxa de renovação de ar (renov/h).

Os resultados observados para TBS no verão e no inverno do cenário base (telha sanduíche e paredes na cor de madeira natural), do cenário 3 (telha cerâmica) e do cenário 4 (paredes com pintura branca) apontam para comportamentos aproximados. Os cenários 3 e 4 apresentam menos de 1% de variação de temperatura durante as noites no verão, ao comparar com o cenário base (Figura 5 e Figura 6). O mesmo pode ser notado com os resultados de demanda térmica (Figura 7 e Figura 8) e temperatura operativa (Figura 9), em que as curvas de desempenho quase se sobrepõem.

Os graus-hora anuais demonstram que a pintura branca das paredes externas do cenário C4 gera uma redução de 267 GHR (13%) e um aumento de 247 GHA (8%) em relação à cor natural das paredes do cenário base, tendo pouca influência no desempenho térmico deste estudo de caso. A cobertura com a telha cerâmica do cenário C3 apresentou um aumento de 140 GHR (7%) e uma redução de apenas 77 GHA (2%), em relação à telha sanduíche do cenário base, demonstrando, portanto, que ambos os materiais possuem desempenho térmico próximos, para o caso em questão.

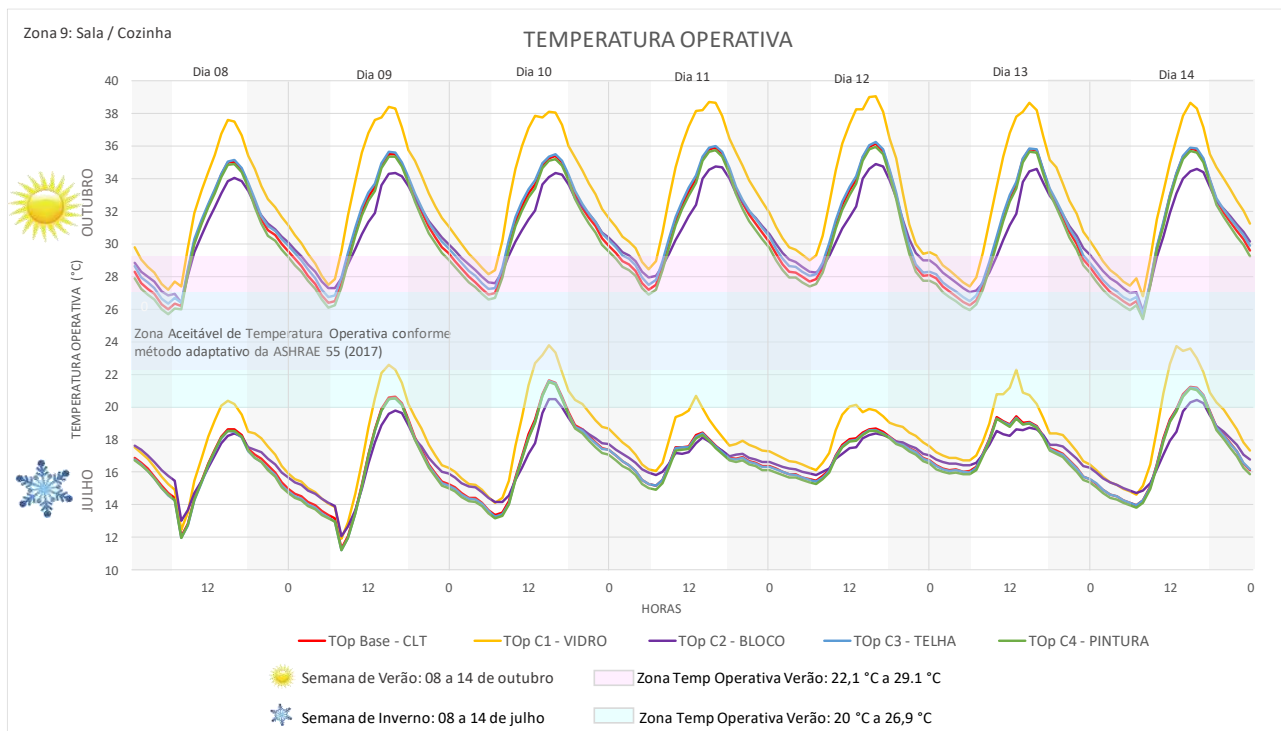


Figura 9 - Temperatura operativa (Top) nas semanas selecionadas de verão e de inverno.

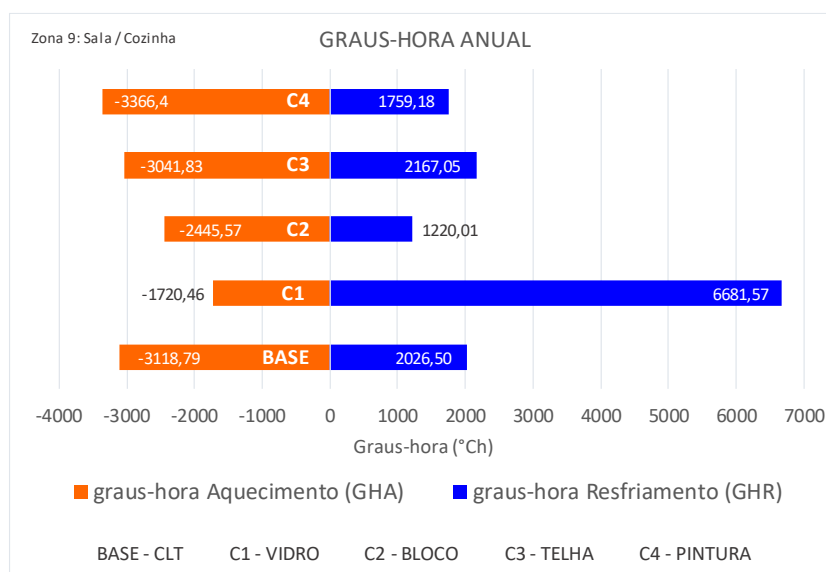


Figura 10 - graus-hora de aquecimento e graus-hora de resfriamento anuais.

Importante ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho enfocam o comportamento térmico dos materiais de construção empregados como estratégia de melhoria no desempenho térmico de um estudo de

caso específico, sob a influência de um clima com verão quente e inverno seco. Seria possível e desejável realizar novas simulações deste mesmo contexto estabelecido, alterando as características climáticas locais, de forma a expandir as conclusões sobre o desempenho térmico destes materiais.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo comparou o desempenho térmico de materiais com diferentes propriedades térmicas em uma edificação residencial naturalmente ventilada situada na cidade de Campinas - SP, por meio de simulação computacional. Os resultados obtidos permitem compreender a importância da escolha de materiais de construção adequados ao clima local, em direção à obtenção de um melhor desempenho termoenergético da edificação.

Observando os materiais opacos da envoltória, percebe-se que o sistema formado por paredes em alvenaria (bloco cerâmico) e laje em concreto apresenta melhor desempenho térmico do que o sistema de paredes e laje em CLT, reduzindo a temperatura do ar interna em 0,4 °C no horário mais quente do dia representativo de verão. A parede em CLT possui maior capacidade térmica que a parede em bloco cerâmico. Entretanto, devido ao maior ganho de calor por radiação solar ocorrer pela cobertura, a laje em concreto, de maior capacidade e inércia térmica, faz com que o sistema construtivo por ela composto (parede de alvenaria e laje em concreto) sobressaia para o clima da região considerada, caracterizado por grande amplitude térmica diária e por verão quente e inverno ameno, proporcionando melhor resposta às estratégias adaptativas de conforto térmico.

Os sistemas de cobertura em telha sanduíche e em telha cerâmica, neste estudo de caso, demonstraram comportamentos térmicos semelhantes, justificados pelos valores aproximados de suas capacidades térmicas (telha sanduíche: 132 kJ/(m²K) e telha cerâmica: 139 kJ/(m²K)).

A estratégia de pintura branca das paredes externas em CLT, que possuem baixa transmitância térmica (0,80 W/m²K), apresentou pouca influência no desempenho térmico da edificação estudada.

O vidro laminado incolor se apresenta como o cenário de pior desempenho térmico dentro do sistema de envoltória da edificação avaliada, demonstrando a necessidade do uso de estratégias de controle solar como, por exemplo, o vidro de baixo fator solar empregado no cenário base.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2005**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **NBR 16401-2008**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações. Rio de Janeiro, 2008.
- AKUTSU, M.; BRITO, A. C. de; CHIEPE, C. P. O Efeito da Capacidade Térmica e da Resistência Térmica de Paredes no Desempenho Térmico de Habitação na Cidade de São Paulo. XIV ENTAC, **Anais...** Juiz de Fora: 2012, p. 3220-3226.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55-2017**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados Climáticos da cidade de Campinas**. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>. Acesso em: 08/08/2018
- CB3E – CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Florianópolis, 2018, p.56 e 57. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>>. Acesso em: 20/08/2018
- CROSSLAM – Descrição do material *cross laminated timber* em homepage do fabricante – Vantagens e benefícios. Disponível em: <<http://www.crosslam.com.br/home/?q=content/vantagens-e-benef%C3%ADcios>>. Acesso em 02/04/2019.
- DIAS, Alexandra da Silva. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas em aço**. Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto, MG: 2011.
- DORNELLES, K.; RORIZ, M. A ilusão das cores na identificação da absorvância solar de superfícies opacas. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Ouro Preto: 2007
- GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina – PR**. Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Londrina, PR: [s.n.], 2005.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano & PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. São Paulo: PW, 2014.
- NOCERA, F.; GAGLIANO, A.; DETOMMASO, M. Energy performance of cross-laminated timber panel (X-Lam) buildings: A case study. **Mathematical Modelling of Engineering Problems**, v. 5, n. 3, p. 175–182, 2018.
- OLIVEIRA, Gabriela Lotufo. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho**. Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, SP: [s.n.], 2015
- RORIZ, V. F.; RORIZ, M. Software EPview, 2015
- SATO, Luana. **A evolução das técnicas construtivas em São Paulo: residências unifamiliares de alto padrão**. Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP: [s.n.], 2011.
- STAZI, F. et al. Energy, comfort and environmental assessment of different building envelope techniques in a Mediterranean climate with a hot dry summer. **Applied Energy**, v. 134, p. 176–196, dez. 2014.
- WESTPHAL, Fernando Simon. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações**. São Paulo: Abividro, 2016.