2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

CONSUMO OPERACIONAL PARA EDIFICAÇÕES EM CLT: ESTUDO COMPARATIVO COM ALVENARIAS CONVENCIONAIS POR MEIO DE BIM

MAIDEL, Bruna (1); TAVARES, Sérgio F. (2)

(1) UFPR – Universidade Federal do Paraná, brunamaidel@gmail.com
(2) UFPR – Universidade Federal do Paraná, sergioftavares@gmail.com

RESUMO

O uso da madeira como material para construção civil tem se difundido nas ultimas décadas por meio do desenvolvimento de tecnologias construtivas em madeira massiva, como o Cross-Laminated Timber (CLT). Para tanto, este estudo tem como objetivo avaliar o consumo energético operacional anual de uma edificação vertical em CLT a partir de sua modelagem e simulação por meio de BIM e Plugins integrados. Um estudo comparativo com técnicas construtivas como blocos cerâmicos e blocos de concreto foi simulado para a cidade de Curitiba – PR a fim de analisar como cada material interfere no consumo energético durante a fase operacional da edificação. Os resultados apontam positivamente para o CLT como um material capaz de reduzir o consumo elétrico do modelo, já para a energia proveniente de combustíveis, o modelo em CLT obteve o pior resultado, influenciado pela espessura dos painéis. Assim, é possível concluir que os painéis de CLT podem ser comparados em uma mesma escala de consumo em relação a outras técnicas maciças de construção.

Palavras-chave: *Cross-Laminated Timber, edificações verticais, consumo operacional, BIM.*

ABSTRACT

The use of wood as a building material has been developed in the last decades because of the new massive wood technologies, like the Cross-Laminated Timber (CLT). This study aims to evaluate the anual operational energy consumption of a CLT vertical building from a simulation integrated into a BIM model. Different building techniques were compared in this study, like ceramic and concrete blocks, so the results could be compared. The simulation was made to the Curitiba – PR city climate, to compare the influence from different materials at the building operational life cycle phase. The CLT panels applied to that case study are capable to reduce the eletricity energy, but because of the thickness of the panels it is possible to infer that the CLT model consumes more energy from fuels. As a conclusion, it is possible to infer that the CLT panels could be compared to other massive building techniques, obtaining similar results from a operational energy simulation.

Keywords: *Cross-Laminated Timber, vertical building, operational energy, BIM.*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas técnicas construtivas que utilizem fontes de matéria prima biológica tem crescido nas ultimas décadas impulsionadas pela necessidade da construção civil mitigar seus impactos ao meio ambiente. Desta forma, a madeira, por utilizar o dióxido de carbono durante o seu ciclo de crescimento, pode ser

considerado um material mais sustentável para a construção civil (RAMAGE et al., 2017).

Além disso, novas tecnologias, que transformam a madeira em produtos industriais com grande nível de precisão e qualidade, como é o caso dos painéis de CLT, tem garantido que o material possa ser utilizado para a construção de edificações em altura, já sendo registradas edificações com até 18 pavimentos em estrutura exclusiva de madeira (TESHNIZI et al., 2018).

Os painéis de CLT são feitos a partir da junção de tábuas de madeira coladas e prensadas em um número de camadas impar e com a disposição das tábuas perpendiculares a camada anterior. Desta maneira, os painéis são usados como estrutura e vedação em um sistema autoportante de painéis horizontais e verticais (KARACABEYLI; DOUGLAS, 2013).

O desenvolvimento dos painéis é recente, datado do início da década de 90 na Alemanha e Áustria, sendo a madeira mais apropriada para a constituição dos painéis aquela proveniente das árvores coníferas, por conta da disposição vertical das fibras das árvores, sendo também uma madeira de grande disponibilidade naquela região. Já para o Brasil, a indicação de madeira para a elaboração dos painéis é também espécies de coníferas que estejam adaptadas a produção nacional, tais como as árvores da família do *Pinus* (PASSARELLI, 2013).

Waugh Thistleton Architects (2018) apontam que o *Cross-Laminated Timber* (CLT) é indicado para edificações em altura em virtude de sua grande capacidade estrutural, e ainda que o material pode ser visto como uma técnica de construção maciça. O que permite sua comparação com outras técnicas de construção de grande massa, tais como o concreto ou os blocos cerâmicos. Neste sentido, é interessante observar como estes painéis maciços de madeira se comportam em relação às trocas térmicas em diferentes contextos climáticos.

Assim, alguns estudos tem sido feitos com relação ao seu desempenho térmico e operacional de acordo com diferentes contextos climáticos, principalmente para edificações verticais e, em muitos dos casos, em comparação a outras técnicas construtivas maciças, resultando em resultados de redução do consumo operacional da edificação em CLT para climas mais frios e amenos (DONG et al., 2019; TESHNIZI et al., 2018; ROULEAU; GOSSELIN; BLANCHET, 2018; INVIDIATA; LAVAGNA; GHISI, 2018; AZZOUZ et al., 2017; STAZI et al., 2014).

Neste sentido, o estudo de Dong et al. (2019), analisa o comportamento do CLT aplicado à diferentes regiões chinesas, obtendo resultados melhores para edificações em CLT em relação ao seu desempenho termo energético ao logo do ciclo de vida para climas mais frios. Já para climas com o verão definido, o desempenho de edificações em CLT é pior, justificados pela maior dificuldade da madeira em resistir as trocas térmicas durante os períodos de calor e, por consequência, em gerar um maior consumo para resfriamento.

Ainda, Rouleau, Gosselin e Blanchet (2018) ao avaliarem o desempenho de uma edificação construída metade em CLT e a outra parte em paredes de montagem leve, conclui que o CLT tem menor demanda energética do que a outra estrutura comparada, mas que se for comparado com materiais com maior massa térmica, é possível verificar que seu desempenho é menos favorável.

Desta maneira, este trabalho tem como objetivo avaliar o consumo energético de edificações verticais em CLT, por meio de uma simulação computacional comparativa com outras técnicas construtivas, tais como os blocos cerâmicos e os

blocos em concreto. A simulação será feita para o clima de Curitiba – PR, por meio do uso de BIM para modelagem e simulação integrada.

Os resultados apontam para uma redução do consumo de energia elétrica da edificação em CLT quando comparado a outras técnicas massivas apontando uma redução na necessidade de uso de sistemas de resfriamento. No entanto para o aquecimento, com a simulação do uso de uma caldeira central, os resultados apontam para um aumento no consumo de combustíveis. Desta forma, é possível concluir que a utilização de painéis massivos de madeira são uma técnica construtíva que pode ser adequada ao contexto climático em climas mais amenos no Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação do desempenho energético operacional de uma edificação em CLT foi feita a partir da modelagem da edificação residencial multifamiliar de padrão baixo (SINDUSCON MG, 2007), e de sua adaptação para diferentes técnicas construtivas a fim de abordar um estudo comparativo em relação ao seu desempenho durante a fase operacional do ciclo de vida da edificação.

Assim, o primeiro modelo analisado foi elaborado em CLT, o segundo em estrutura em concreto armado e vedação em blocos cerâmicos e o terceiro em blocos de concreto estrutural com reforços em graute, conforme as características descritas no Quadro 1. No entanto, para todos os modelos foram utilizados acabamentos semelhantes a fim de neutralizar o impacto destes durante a simulação, conforme os acabamentos descritos na Figura 1.

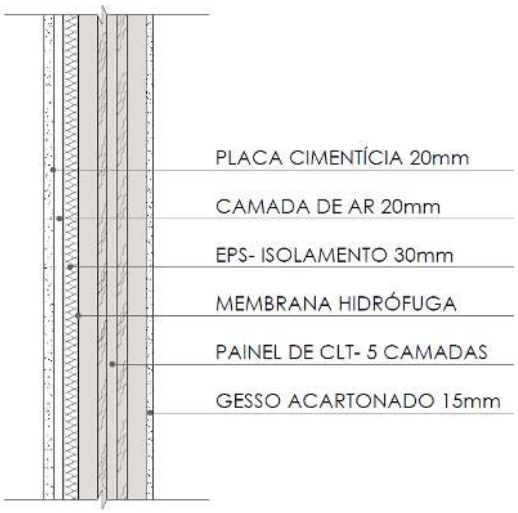
Quadro 1 – Materias das edificações em CLT, bloco cerâmico e de concreto

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th>CLT</th><th>Bloco cerâmico</th><th>Bloco de concreto</th></tr>
<tr><td colspan="2">Térreo</td><td colspan="2">Concreto armado (vigas e pilares moldados in loco) e vedação em bloco cerâmico (largura-14 cm)</td><td>Bloco de concreto grauteado</td></tr>
<tr><td colspan="2">Estrutura vertical</td><td>Painéis de CLT (especificado em vedação vertical)</td><td>Pilares (15x40cm) em concreto armado moldados in loco</td><td>Bloco de concreto grauteado</td></tr>
<tr><td colspan="2">Estrutura horizontal</td><td>Painéis de CLT (espessura: 14cm, 5 camadas)</td><td>Lajes em concreto armado moldadas in loco (10cm) e vigas sob paredes (14x40cm)</td><td>Lajes em concreto armado moldadas in loco (10cm) e grautes</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Vedação vertical</td><td>Núcleo estruturante</td><td>Painéis de CLT - 18 cm</td><td>Bloco cerâmico 29x19x14 cm (Deitado: 19cm de largura)</td><td>Bloco de concreto vazado 19x19x39 cm (19cm de largura)</td></tr>
<tr><td>Pavto. 01 e 02</td><td>Painéis de CLT - 18 cm</td><td rowspan="4">Bloco cerâmico 29x19x14 cm (14cm de largura)</td><td rowspan="4">Bloco de concreto vazado 14x19x39 cm (14cm de largura)</td></tr>
<tr><td>Pavto. 03 a 05</td><td>Painéis de CLT - 16 cm</td></tr>
<tr><td>Pavto. 06 e 07</td><td>Painéis de CLT - 14 cm</td></tr>
<tr><td>Interna</td><td>Painéis de CLT - 12 cm</td></tr>
</table>

Acabamento	Interno-vertical	Pintura a base d'água branca e placas de gesso cartonado
	Interno-horizontal	Superior: Regularização, argamassa de assentamento e cerâmica; Inferior: Pintura a base d'água branca e placas de gesso cartonado
	Externo	Fachada ventilada: placa de fibrocimento (20mm), estrutura de alumínio para fixação dos painéis (50x50x3mm), camada de ar (20mm), EPS (30mm) e membrana hidrófuga (apenas para CLT)
Cobertura		Piso cerâmico, argamassa, EPS (30mm), manta asfaltica (5 mm) e argamassa de regularização
Esquadrias	Janelas	Esquadria de alumínio+ vidro simples
	Portas	Madeira

Fonte: os autores

Figura 1 – Esquema dos acabamentos utilizados nas vedações verticais



Fonte: os autores

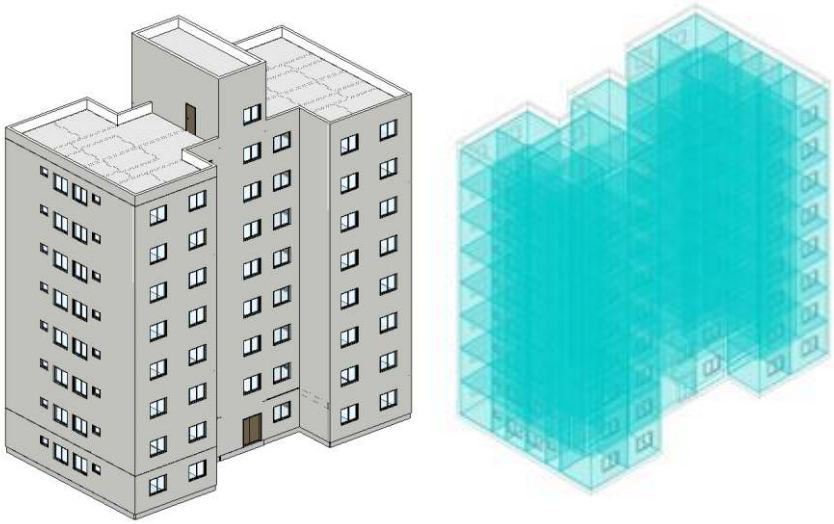
A modelagem foi feita em BIM por meio da utilização do *software Autodesk Revit*, escolhido em virtude de sua interação com os *Plugins Insight 360 e Green Building Studio* utilizados conjuntamente para simulações de consumo energético da edificação.

Para esta modelagem em BIM das edificações, foi necessário adaptar o modelo escolhido, assim, um ajuste com relação às dimensões em planta e em relação aos materiais foi feito a fim de criar modular a edificação e fazer a adequação de diferentes técnicas construtivas. Os três modelos tiveram características similares quanto à área total construída e aos acabamentos finais, conforme pode ser visto na Figura 2A.

Após a modelagem em *Revit* foi necessário também adaptar os dados de entrada com relação ao consumo de equipamentos e de iluminação conforme o contexto brasileiro para os dados de entrada aceitos pelo *software* (PBE Edifica, 2012; PROCEL, 2015). Ainda com relação ao desempenho térmico dos materiais, foi necessário adequar as características dos materiais em concordância com a ABNT (2005a) e ao PBQP-H (2018). Além da definição de sistemas de aquecimento e resfriamento de determinados ambientes, sendo neste caso adotada a ventilação natural para a

cozinha, lavanderia e banheiro, e aquecimento por meio de sistema central de calefação a gás e resfriamento por meio do uso de condicionadores individuais de ar apenas para quartos e sala. Para a simulação, foi eleito o clima de Curitiba – PR, com invernos de clima bem definido e verões amenos, localizada na Zona Bioclimática I (ABNT, 2005b).

Figura 2A e 2B – Modelagem e envio do modelo em BIM para a avaliação operacional



Fonte: Os autores, via *Revit* (2019) e *Insight 360* (2019).

Após este processo, os três modelos foram enviados para a nuvem da *Autodesk* para finalizar o processo de simulação operacional. Desta forma, dentro da plataforma do *Insight 360* foi possível acrescentar dados relativos a inserção de painéis fotovoltaicos, que com 16% de eficiência e recobrindo 60% da superfície do telhado para os três modelos, foram adicionados a simulação. As demais características com relação a orientação solar, sombreamento das aberturas, ocupação dos ambientes e consumo de equipamentos foram mantidos conforme a modelagem e parâmetros definidos em *Revit*.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da simulação em núvem pela *Autodesk Green Building Studio*, é possível obter os resultados em relação ao consumo energético operacional para os diferentes modelos, conforme apresentado pelo Quadro 2:

Quadro 2 – Consumo operacional dos modelos

	Consumo		
Modelo	**Eletriciade (kWh)**	**Combustível (MJ)**	**Consumo anual (kWh/ano)**
CLT	307.607	707.024	240.700
Bloco cerâmico	314.609	652.766	250.660
Bloco de concreto	314.190	628.664	255.640

Fonte: Os autores, a partir de *Green Building Studio* (2019).

O resultado obtido da simulação, conforme o Quadro 2, mostrou que o modelo com melhor desempenho e menor consumo de energia elétrica durante a fase operacional da edificação foi aquele em CLT, com a redução de aproximadamente 6% em relação ao modelo de maior consumo (bloco de concreto) e de pouco menos que 4% do modelo em bloco cerâmico.
No entanto, se analisado o consumo de combustíveis, utilizados principalmente para os processos de aquecimento dos cômodos, o modelo em CLT teve um consumo superior aos demais modelos. Desta forma, é provável que as trocas térmicas entre interior e exterior tenham sido mais acentuadas nos pavimentos mais altos do modelo em CLT, principalmente durante o período de inverno, evidenciando o aumento de consumo de energia para aquecimento.
Este aumento de trocas térmicas acontece por conta da redução na espessura dos painéis de CLT nos pavimentos mais altos, modelado desta forma por conta da redução de demanda de carga estrutural (EN 1995: 2004, 2004; WOOD-WORKS, 2018), o que não aconteceu nos demais modelos, uma vez que a espessura das paredes se manteve constante desde o térreo até a cobertura, tanto para o modelo em blocos cerâmicos como para o modelo em bloco de concreto.
Assim, a espessura dos painéis foi determinante para os resultados obtidos com relação as trocas térmicas do modelo, visto que há uma redução da espessura dos mesmo desde o primeiro até o oitavo pavimento, que vai de 18 até 14 cm, respectivamente. Além da característica dos painéis internos, com espessura de 12 cm, permitirem uma maior troca térmica entre os cômodos, enquanto que nos demais modelos, foram modelados com espessura apenas de 14 cm ou de 19 cm em virtude das dimensões modulares dos blocos utilizados.
Desta forma, a vantagem apresentada em relação a redução de material de vedação e estrutura possibilitada pela capacidade estrutural autoportante do CLT pode ser uma desvantagem com relação ao consumo energético para aquecimento ao longo da fase operacional da edificação.

4 CONCLUSÕES

Para este trabalho foi avaliado o consumo energético operacional de um edifício vertical em CLT quando comparado com edificações em alvenaria de bloco cerâmico e de bloco de concreto a partir da modelagem e simulação em BIM.

É possível concluir, assim, que o uso de BIM para a simulação do consumo operacional de edificações permite que projetistas possam se apropriar de *plugins* integradas à *softwares* de projeto a fim de verificar a relação entre os materiais para estrutura e vedação e o consumo energético do ambiente construído durante o seu ciclo de vida.

No entanto, com relação a experiência em utilizar *Plugins* integrados em BIM para avaliações de desempenho energético, é possível apontar que a operabilidade e a rastreabilidade dos dados de entrada estão em dissonância com relação aos dados de entrada de consumo de equipamentos e as características dos materiais conforme a ABNT para o contexto brasileiro, uma vez que os dados de entrada aceitos pelo *software* e *plugin* estão de acordo com a ASHRAE (2009).

Desta maneira, é necessário avaliar os resultados obtidos pela simulação em termos relativos, e não como valores absolutos. Para este estudo, os resultados apontam para a redução do consumo de energia elétrica do modelo em CLT, em até 6% anual em relação ao pior resultado obtido, aquele apresentado pelo modelo em blocos de contreto. Já para a utilização de combustíveis, o modelo em CLT consumiu um

oito avos (1/8) a mais do que o modelo que menos utiliza combustíveis durante o período de um ano para o contexto climático da cidade de Curitiba – PR.

Todavia, o estudo de Rouleau, Gosselin e Blanchet (2018) aponta que a percepção térmica é diferente em ambientes com acabamentos em superfícies amadeiradas, em virtude da sensação de conforto causada no usuário e pelo controle da umidade que os painéis em madeira fazem, apontando uma redução voluntária de consumo de energia para aquecimento nestes casos, fator que poderia atuar de maneira positiva para o contexto climático utilizado para esta simulação.

Finalmente, é possível inferir que os painéis de CLT podem ser comparados com outras técnicas construtivas maciças comumente utilizadas no Brasil, e permite uma relação igualitária em termos absolutos para o consumo operacional da edificação. Neste sentido, é ainda necessário que simulações em relação ao seu desempenho sejam feitas para diferentes climas atuantes no território nacional, a fim de avaliar seu comportamento térmico de uma maneira mais abrangente.

Ainda, é importante ponderar a relação entre a espessura dos painéis e o consumo termo energético da edificação, a fim de avaliar a validade em aumentar o consumo de matéria prima para a fabricação de painéis em detrimento da melhora na capacidade térmica do material.

Como o uso do CLT aplicado à edificações é relativamente novo no contexto nacional, diferentes aspectos devem ainda ser investigados, tais como o impacto ambiental pelo uso da madeira, disponibilidade de matéria prima, potencial da indústria em absorver sua produção, logística e construção a fim de fomentar seu uso na construção civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradeçem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sendo este artigo um dos resultados parciais de uma pesquisa de mestrado.

REFERÊNCIAS

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook of Fundamentals.** Atlanta, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:2** Desempenho térmico das edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220:3** Desempenho térmico das edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.

AZZOUZ A., BORCHERS M., MOREIRA J., MAVROGIANNI A. **Life cycle assessment of energy conservation measures during earlystage office building design: A case study in London, UK.** Energy and Buildings 139, p. 547-568, 2017.

DONG Y., CUI X., YIN X., CHEN Y., GUO H., **Assessment of Energy Saving Potential by Replacing Conventional Materials by Cross Laminated Timber (CLT) – A Case Study of Office Buildings in China.** Applied Sciences, 9 (5), 2019.

EN 1995:2004, Eurocode 5. **Design of timber structures. General. Common rules and rules for buildings.** European Standard, CEN, Bruxelas, 2004.

INVIDIATA A., LAVAGNA M., GHISI E., **Selecting design strategies using multi-criteria decision making to improve the sustainability of buildings.** Building and Environment 139, p. 58–68, 2018.

KARACABEYLI E., DOUGLAS B. **CLT Handbook: Cross-Laminated Timber.** US Edition, FP Innovations, 2013.

RAMAGE M. H., BURRIDGE H., BUSSE_WICHER M., FEREDAY G., REYNOLDS T., SHAH D., WU G., YU L., FLEMING P., DENSLEY_TINGLEY D., ALLWOOD J., DUPREE P., LINDEN P.F., SCHERMAN O. **The wood from the trees: The use of timber in construction.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 68, p. 333–359, 2017.

PASSARELLI R.N. **Cross laminated timber: diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

PBE EDIFICA. **Manual para aplicação do RTQ-R – Residencial**, 2012.

PBQP-H, Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat. **Programa Setoriais da Qualidade: Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos (SiMaC).** Brasília: Ministério das Cidades. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_simac_psqs.php. Acesso em: dezembro de 2018.

PROCEL; ELETROBRÁS. **Tabela de estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos de acordo com um uso hipotético.** 2015. Disponível em: <TTP://www.industriahoje.com.br/wp-content/uploads/downloads/2015/01/Tabela-Consumo-Equipamentos-Procel-Eletrobras.pdf> Acesso em: 11/11/2019.

Rouleau J., Gosselin L., Blanchet P. **Understanding energy consumption in high-performance social housing buildings: A case study from Canada.** Energy 145, p. 677-690, 2018.

SINDUSCON MG (SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS). **Custo Unitário Básico (CUB/m²):** principais aspectos. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. 112p.

STAZI F., TOMASSONI E., BONFIGLI C., PERNA C. D. I. **Energy, comfort and environmental assessment of different building envelope techniques in a Mediterranean climate with a hot dry summer.** Applied Energy 134, p. 176–196, 2014.

TESHNIZI Z., PILON A., STOREV S., LOPEZ D., FROESE D.L. **Lessons Learned from Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Two Residential Towers at the University of British Columbia.** 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, Copenhagen, Denmark, 2018.

WAUGH THISTLETON ARCHITECTS, **100 Projects UK CLT**. Softwood Lumber Board & Forestry Innovation Investment, 2018.

WOOD-WORKS. **Origine Pointe-Aux-Lièvres Ecocondos Quebec City**, Cecobois. 2018. Disponível em: https://cecobois.com/publications_documents/CECO-11410_Etude_Cas_Origine_paysage_Ang_WEB.pdf. Acesso em: 05/06/2019.