

USO DE RESÍDUOS DE CELULOSE NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Genyr Kappler¹ (genyrk@edu.unisinos.br), Carlos Alberto Mendes Moraes¹
(cmoraes@unisinos.br), Regina Célia Espinosa Modolo¹ (reginaem@unisinos.br), Juliana
Damasio Waschevich¹ (damasio.arq@gmail.com)

1 UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS/UNISINOS

RESUMO

Os impactos ambientais impostos pela atividade antrópica têm crescido nas últimas três décadas e tendem a se intensificar nos próximos 20 anos. Entre as questões mais alarmantes estão o aumento da geração de resíduos, o consumo de energia e a relevância na gestão das águas (OECD, 2002). Um dos maiores desafios da sociedade moderna está centrada na geração e fornecimento de energia elétrica. Um dos elementos que mais tem contribuído para o crescimento desta demanda é a climatização de ambientes residenciais e comerciais, sendo que os países em desenvolvimento tendem a responder pela maior parte do crescimento. A maneira mais eficiente de se economizar energia é evitando o seu consumo, desta forma, fazer o reaproveitamento de matéria prima já beneficiada pode reduzir a demanda por energia, bem como evitar a extração de novos recursos. Observa-se que diversos países utilizam materiais celulósicos como isolante térmico e que estes apresentam bom desempenho relativamente ao isolamento térmico e acústico. Kappler et al., (2015) propuseram o uso de resíduos celulósicos da indústria gráfica com carga de resíduos da indústria moveleira, ou seja, resíduos de papel misturados com pó e serragem de MDF (Medium Density Fiber) formando um compósito. Como demonstrado pelos autores, o uso destes materiais permite a valorização dos resíduos em novos produtos e processos, permitindo ainda a redução no consumo de energia elétrica para climatizar ambientes. A simulação realizada com o uso do software EnergyPlus® mostra o quanto de energia se pode evitar consumir para manter uma edificação na temperatura de conforto desejada para o clima da região de Porto Alegre, Brasil.

Palavras-chave: Reciclagem, Climatização, Eficiência energética.

USE OF CELLULOSE WASTE IN IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF RESIDENTIAL BUILDINGS

ABSTRACT

The environmental impacts imposed by anthropic activity has increased over the last three decades and tend to intensify over the next 20 years. Among the most alarming issues are increased waste generation, energy consumption and water management relevance (OECD, 2002). One of the greatest challenges of modern society is centered on the generation and supply of electricity. One of the aspects that most have contributed to the growth of this demand is conditioning the air of residential and commercial buildings, where the developing countries tend to account for most of the growth. The most efficient way to save energy is to avoid its consumption, thus, reusing raw material already benefited can reduce the demand for energy as well as avoid the extraction of additional resources. It was observed that several countries use cellulosic materials as thermal insulation and that it presents excellent characteristics of thermal and acoustic insulation. Kappler et al., (2015) proposed the use of cellulosic waste from the printing industry mixed with waste from the furniture industry, that is, paper waste mixed with powder and sawdust of MDF- (Medium density Fiber), forming a composite. The use of these waste materials allows its valorization by creating new products and processes, as demonstrated by the authors, while still allowing the reduction in the consumption of electric energy to conditioning the air in the buildings. The simulation performed with EnergyPlus® software shows how much electric energy can be avoided at keeping the temperature of a building at the desired comfort temperature for the climatic condition of Porto Alegre city, Brazil.

Keywords: Recycling, Air-conditioning, Energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização e o processo migratório para as urbes têm se intensificados a partir do século XVIII com a Revolução Industrial. O aperfeiçoamento do mercado de consumo e a busca por melhor qualidade de vida têm imposto uma sobrecarga na extração de recursos naturais, no consumo de energia e na geração de resíduos, gerando a atual crise ambiental (VLIET *et al.*, 2005) e (SCHUETZE *et al.*, 2013). A depleção dos recursos naturais e a contaminação dos ecossistemas têm posto em cheque a manutenção do desenvolvimento econômico da sociedade e a sustentabilidade da produção industrial, evidenciando a necessidade de uma gestão ambiental mais eficiente e responsável (DIAS, 2010).

A partir do século XVIII o homem passa a produzir substâncias de natureza sintética, que somado ao crescimento demográfico potencializou a degradação do meio ambiente. Com isso a concentração de poluentes sólidos, líquidos e gasosos se intensificou a ponto de exceder a capacidade de suporte dos ecossistemas para determinadas substâncias (SEIFFERT, 2010). Autores como Vliet (2005), Schuetze (2013) e Seifert (2010) têm buscado advertir a sociedade, seus gestores e a classe empresarial sobre a forma como as atividades industriais e a expansão urbana vêm se desenvolvendo e da necessidade da adoção de modelos de menor impacto ambiental.

O modelo de mercado altamente competitivo impõe barreiras ao setor produtivo, que se mostra reticente quanto à adoção de processos mais eficientes, principalmente devido ao custo de mudanças estruturais e tecnológicas, optando por manter o modelo do qual detém domínio em detrimento do mais eficiente, fazendo-se necessária a adoção de regulamentações por parte do Estado. Ainda assim, entre a busca de um resultado ótimo e o simples cumprimento de normas restritivas, a adoção de novos processos, produtos, formas de descarte e reincorporação de resíduos na cadeia produtiva são alternativas interessantes e que trazem bons resultados econômicos e ambientais. McDonough, 2008, acrescenta que, se existe uma solução ela reside no design do sistema produtivo e de produtos. Portanto, deve-se repensar todo o sistema do produzir para descartar, para um processo de ganho contínuo de produção em ciclo fechado, no lugar de apenas externalizar os impactos negativos.

A construção civil é apontada como um dos setores mais impactantes do ponto de vista ambiental, sendo um dos motivos o elevado consumo de energia para produzir alguns de seus materiais empregados no setor e a energia elétrica consumida nas edificações. Estudos de ACV destacam que a etapa operacional é a mais impactante em relação ao consumo de energia em edificações habitacionais (CALDAS *et al.*, 2016). Segundo dados do Balanço Energético Nacional BEN, 2014, foi observado que as edificações habitacionais brasileiras são responsáveis por um consumo de 24,2% de toda energia elétrica brasileira. Muitos pesquisadores afirmam que a utilização de isolantes térmicos no envelope da edificação origina uma redução do consumo de energia em razão da diminuição da utilização do sistema de condicionamento de ar. Este fato está relacionado com a diminuição da carga térmica, pois os isolantes térmicos têm a capacidade de diminuir o fluxo de calor que atravessa as paredes, cobertura e piso (GABRIELLI, 2014).

A introdução de tecnologias que busquem a eficiência energética e viabilizem a redução do consumo de energia por meio da adoção de técnicas construtivas mais eficientes dependem de políticas públicas e modelos de mercado que incentivem a mudança no comportamento dos consumidores. Um dos fatores mais limitantes para se construir habitações com maior eficiência energética é o custo dos materiais usados na confecção do envelope, por serem materiais mais nobres. A reciclagem de materiais celulósicos possibilita seu uso na construção do envelope de edificações, melhorando sua eficiência energética (KAPPLER *et al.*, 2015). Estes autores salientam que a celulose é um excelente isolante térmico utilizado desde a década de 40 por países do norte. O uso de material celulósico proveniente de resíduos da indústria moveleira e da indústria gráfica como isolante térmico se mostra uma alternativa de reciclagem relevante, redirecionando estes materiais de aterros e aripes para novos mercados, lhes conferindo valor comercial e minimizando o impacto ambiental.

Com este artigo se pretende demonstrar que materiais reciclados da indústria podem ser utilizados na confecção do envelope de edificações residenciais. A recuperação de materiais, além de promover um incremento em sua cadeia de valores, ainda proporciona um ganho energético pela energia evitada na climatização de habitações.

2. OBJETIVO

Demonstrar, através de simulação computacional com o uso do programa *EnergyPlus®*, que materiais reciclados como o pó do lixamento e serragem de MDF da indústria moveleira e resíduos de papel da indústria de impressão podem ser utilizados na confecção do envelope de edificações habitacionais melhorando seu desempenho térmico, podendo reduzir o consumo de energia elétrica para fins de climatização.

3. METODOLOGIA

A simulação computacional permitiu observar a carga térmica requerida por uma residência popular de 50,25 m², comparando duas envoltórias diferentes. Foram quantificadas as cargas térmicas necessárias para climatizar a habitação pelo período de um ano. A quantificação foi obtida pela subtração dos resultados destes dois modelos comparativos utilizando a simulação computacional: Carga térmica com o uso de isolamento de celulose subtraída da carga térmica com o uso de alvenaria tradicional. As simulações permitiram mensurar a carga térmica evitada ao se climatizar uma habitação que utiliza isolamento celulósico.

3.1. Simulação no programa EnergyPlus®

O programa EnergyPlus® fornece os mecanismos de modelagem aplicados a análise dos materiais utilizados na construção para a simulação da carga térmica. Ele é uma coleção de muitos módulos de programa que trabalham juntos para calcular a energia necessária para aquecimento e resfriamento de um edifício usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Ele faz isso simulando o edifício e sistemas de energia associados quando eles estão expostos a diferentes condições ambientais e operacionais. A simulação da carga no edifício é baseada em princípios de equilíbrio térmico fundamentais.

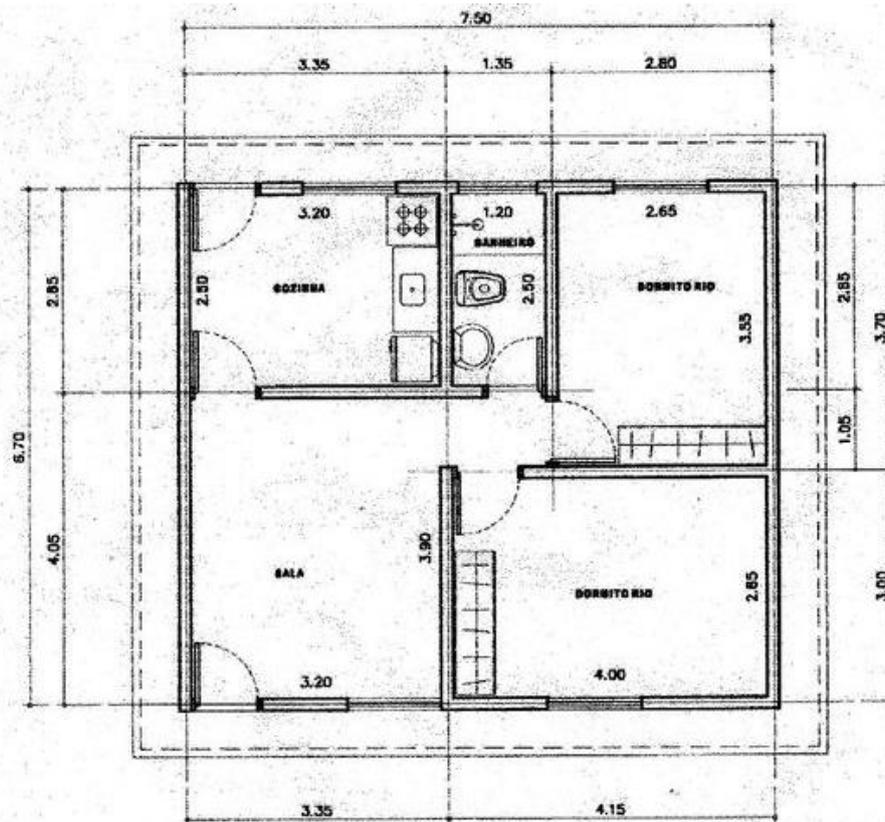
3.2. Isolante térmico de celulose

O isolante proposto é fabricado a partir de resíduos industriais e urbanos, constituído de uma mistura de resíduos de papel jornal triturados, oriundos do processo produtivo da indústria gráfica e do pós consumo, com pó de serragem e de lixamento do MDF, resultantes da fabricação de móveis. A mistura recebe ainda componentes químicos para evitar insetos, bem como para torná-lo inerte ao fogo com a adição de cargas minerais retardantes de chama como por exemplo compostos halogenados de bromo (KAPPLER *et al.*, 2015). É um material de pouca densidade, em torno de 80 kg m⁻³, e com condutividade térmica em torno de 0,039 W m⁻¹K⁻¹ de acordo com a literatura (FERREIRA, 2012).

3.3. Habitação popular

Para a simulação computacional dos dois modelos de envoltória se utilizou o projeto de uma edificação popular do programa Minha Casa Minha Vida, do governo Federal (Planos Casas, 2016), que tem área total construída de 50,25 m², Figura 1.

Figura 1: Planta baixa de residência unifamiliar Minha Casa Minha Vida. Fonte: Planos Casas



3.4. Configuração e limites do sistema

As simulações computacionais foram feitas para o período de um ano, com a temperatura interna da edificação configurada para o valor mínimo de 18 °C no Inverno e máximo de 26 °C no Verão. Foram avaliados dados em intervalos de uma hora durante as 8760 horas do ano. Não se considerou o modelo ou tipo do equipamento, sendo consideradas apenas as cargas térmicas necessárias para a manutenção da temperatura dentro dos limites pré-estabelecidos. A taxa de ocupação da residência foi estipulada em 0,1 pessoas por m², que é o resultado da quantidade de pessoas selecionadas, no caso 5 pessoas, dividido pela área da casa. Não foram consideradas formas de ventilação com o meio externo ou de renovação do ar para as simulações.

Na primeira simulação o modelo foi configurado com as paredes da envoltória com as faces externas compostas por chapas de fibrocimento, e as faces internas revestidas com chapas de gesso acartonado. O espaço entre as paredes é preenchido com isolamento térmico de celulose reciclada. As paredes internas são compostas por duas chapas de gesso acartonado e para todas as janelas foi considerado o uso de vidro duplo.

Na segunda simulação se utilizou um modelo com as paredes externas em alvenaria de tijolos com cobertura de argamassa em ambos lados e janelas tradicionais, que usam um vidro apenas. As paredes internas são compostas por duas chapas de gesso acartonado. A Tabela 1 mostra as principais características dos materiais utilizados na confecção do envelope.

Tabela 1: Características dos materiais da envoltória

| Material | Rugosidade | Espessura (m) | Condutiv. térmica (W/(m.K)) | Massa específica (kg/m ³) | Calor específico (J/(kg.K)) | Coefficiente de absorção térmica |
|--|------------|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Placa cimentícia | Média | 0,01 | 0,95 | 2200 | 840 | 0,90 |
| Gesso acartonado | Suave | 0,015 | 0,35 | 1000 | 840 | 0,90 |
| Isolante celulósico | Áspero | 0,175 | 0,039 | 80 | 2.200 | 0,40 |
| Argamassa | Áspero | 0,01 | 1,15 | 2100 | 1000 | 0,90 |
| Concreto (Laje de piso e de cobertura) | Áspero | 0,12 | 1,75 | 2400 | 1000 | 0,90 |
| Piso cerâmico | Média | 0,01 | 0,90 | 1600 | 920 | 0,90 |
| Cobertura de fibrocimento | Média | 0,006 | 0,95 | 1800 | 840 | 0,50 |
| Tijolo | Média | 0,20 | 0,90 | 1600 | 920 | 0,90 |
| Vidro | Suave | 0,003 | 0,90 | 2500 | 670 | 0,90 |

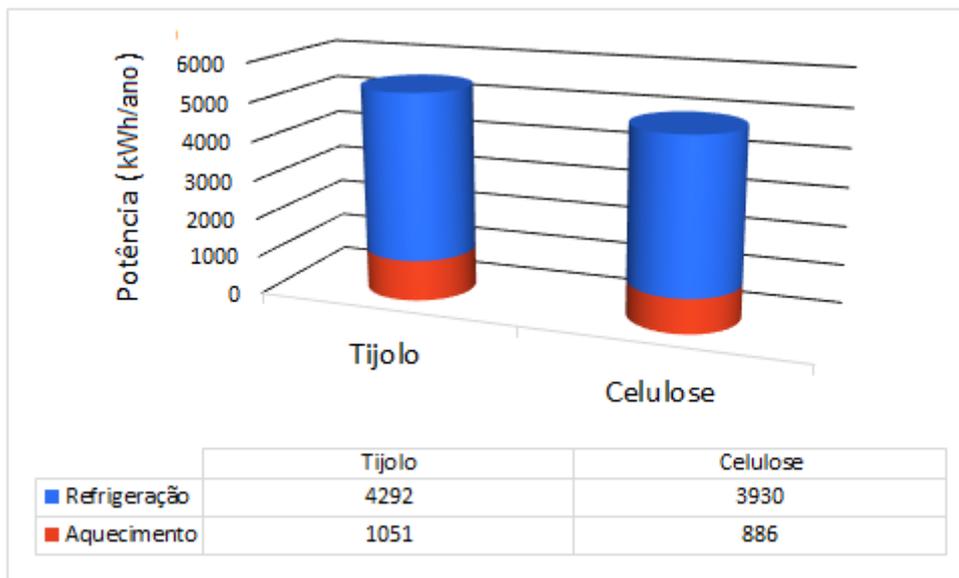
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação mostrou que o uso da envoltória fabricada com placas cimentícias e gesso acartonado preenchidas com celulose reciclada reduzem a troca de calor com o ambiente externo quando comparada com a de blocos cerâmicos. Na simulação foi quantificada a energia elétrica necessária para que um equipamento de ar condicionado mantivesse a temperatura da edificação popular entre os valores mínimos de 18 °C para o inverno e máxima de 26 °C para o verão, considerando todos demais parâmetros iguais.

Sabe-se que a troca de calor pelas janelas tem um importante impacto nas taxas de transferência com o meio externo, porém não se quantificou este dado em separado, sendo que foram usados os mesmos parâmetros para evitar outra variável. A ventilação com renovação de ar, ou seja, trocas de ar entre ambiente interno e externo, também pode ser utilizada em aplicações reais tirando proveito das melhores condições de temperatura do ar do ambiente externo, podendo se reduzir ainda mais a carga térmica para a climatização. A título de experimento, para não incorporar esta variável no cálculo, não se considerou esta condição.

A Figura 2 mostra o comparativo das potências elétricas consumidas em kWh/ano para aquecimento e refrigeração para os dois tipos de envoltória. Para a condição que simula o uso de paredes externas confeccionadas com blocos cerâmicos revestidos com argamassa, o consumo anual de eletricidade para suprir a carga térmica foi de 5.343 kWh no período, enquanto que a simulação desta habitação substituindo a envoltória de suas paredes externas com a placa cimentícia e gesso acartonado preenchidos com o isolante térmico celulósico, a demanda estimada de energia elétrica foi de 4.816 kWh. Isso representa uma economia de 527 kWh por ano em média. Dos valores observados, cerca de 80% da energia é usada na refrigeração e os 20% restantes no aquecimento para ambos os casos. A carga térmica evitada pode gerar uma economia anual de R\$392,00 de acordo com uma simulação de valores obtida pelo site da CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica – Rio Grande do Sul) para o período de bandeira verde, valor equivalente em reais para o mês de abril de 2017.

Figura 2: Comparativo do consumo de eletricidade total anual entre as duas envoltórias



5. CONCLUSÃO

A simulação demonstra que edificações que utilizam isolamento térmico em sua envoltória possibilitam reduzir a carga térmica para a climatização em 9,9% no período de um ano. Esta redução da carga térmica pode ser ampliada ao se integrar a este modelo técnicas de ventilação e renovação de ar que considere que o ar que é admitido ocorra em horários em que sua temperatura esteja mais adequada para o mantimento da temperatura desejada.

É importante observa-se que a economia no consumo de energia é um fator relevante por se tratar de uma economia que se estende ao tempo total de uso da edificação. Entretanto, o uso de materiais celulósicos reciclados da indústria pode atingir um mercado novo para estes resíduos, fomentando uma cadeia de valores entre as indústrias moveleiras, gráficas e de construção civil, numa estreita relação simbiótica.

O uso de celulose reciclada como isolante térmico não é um conceito atual, mas a incorporação de resíduos de serragem e de lixamento do MDF é uma proposta atual e pode colaborar nesta cadeia de valores, trazendo economia para a indústria e fomentar novos mercados.

Apesar do escopo deste trabalho não contemplar aspectos de ordem econômica, acredita-se que o uso desta técnica possa viabilizar, técnica e economicamente, a construção de edificações populares com maior conforto térmico e com menor impacto no consumo e geração de energia elétrica para climatização e minimizar impactos negativos ao evitar o descarte de resíduos celulósicos como MDF e da indústria gráfica.

AGRADECIMENTOS

Nosso agradecimento ao apoio financeiro, provido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que possibilitou o andamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

Balanco energético nacional (BEN) 2014: Relatório Síntese ano base 2013. BrasíliaDF, 2014.

Caldas, Lucas; Pedroso, Gilson; Sposto, Rosa Maria . Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) de uma habitação: Estudo para diferentes cenários considerando as etapas do berço ao túmulo.

Disponível em <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.191/6012>. Acessado em 26/03/2017.

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. Simulador do valor da conta. Acessado em abril de 2017. Disponível em <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1248>

Dias, Reinaldo. Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade/Reinaldo Dias. – 1.ed.-7. reimp.-São Paulo: Atlas, 2010. 196 p.

FERREIRA, R. ANÁLISE DA ENVOLTÓRIA DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL CONSTRUÍDO EM SISTEMA NÃO-CONVENCIONAL NO CONTEXTO BRASILEIRO. Monografia. Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR. Curitiba, 2012.

Gabrielli, Ana Luiza Angrimani Norris. Isolamento térmico e conforto ambiental em edifícios residenciais na região sudeste do Brasil: Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e a amplitude térmica interna. CONIC-SEMESP, São Paulo, 2014.

Kappler, G., Damasio, J.K., Sousa, S.L., Moraes, C.A.M., Dias, J.B., Wander, P.R. Uso de resíduos industriais na produção de isolante térmico e acústico para edificações sustentáveis: uma relação simbiótica entre as empresas envolvidas. 6º Fórum Internacional de resíduos sólidos. São Paulo, 2015.

McDonough, W.; Braungart, M. Cradle to Cradle: remaking the way we make things. London, UK: Vintage, 2008. 199 p.

OECD (Organization for co-operation and development) (2002) Towards Sustainable Household Consumption?: Trends and Policies in OECD countries, OECD, Paris. Apud Vleit, 2005.

PLANOS CASAS. Plantas de casas populares. Disponível em: <http://planoscasas21.blogspot.com.br/2016/01/plantas_baixas_de_casas_populares.html>. Acesso em: Oct. 2016.

Schuetze, T., Lee, T., Lee, J. Sustainable Urban (re-)Development with building integrated energy, water and waste system. Sustainability, 2013. ISSN 2071-1050, doi:10.3390/su5031114.

Seifert, M. E. B. Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. 1. ed. São Paulo, Brasil: Atalas, S/A, 2010. 328 p.

Vliet, B. V.; Chappells, H.; Shove, E. Infrastructures of consumption: environmental innovation in the utility industries. Oxford, UK: Earthscan, 2005. 130 p.