

EFEITO DA BORRACHA RECICLADA DE PNEUS NA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE PAREDES DE CONCRETO

Janice Biz Pessette (1); Fernando Pelisser (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)japessette@hotmail.com; (2)fep@unesc.net

RESUMO

A indústria da construção civil tem grande impacto social, ambiental e econômico. Seu desenvolvimento, através de novas tecnologias e otimização dos recursos, permite seu crescimento sustentável. Neste trabalho é proposta a utilização de borracha reciclada de pneus para construção de paredes de concreto. Foi avaliado o efeito da concentração de borracha (0%, 10% e 20%) no comportamento térmico e mecânico, com objetivo de construir sistemas de vedação mais eficientes, considerando as recomendações da Norma de Execução de Paredes de Concreto (NBR 16055) e de Desempenho de Edificações (NBR 15575) no que se refere aos índices de condutividade térmica. O concreto utilizando 10% de borracha reciclada de pneus atingiu uma resistência satisfatória (NBR 16055) de 25 MPa e um índice de eficiência de consumo de cimento sustentável de $13,6 \text{ kg.m}^{-3}.\text{MPa}^{-1}$. Os resultados de módulo de elasticidade mostraram que o concreto atende à relação de resistência e deformação proposta pela NBR 6118. Os resultados de condutividade térmica mostraram uma forte tendência de redução dos índices de condutividade, atingindo uma redução de 20% com o uso de 10% de borracha. Considerando uma espessura de paredes de 15 cm foi calculada uma transmitância térmica de $3,57 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para o concreto e de $3,33 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ para o concreto com 10% de borracha ($\leq 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ - NBR 15575). Os resultados contribuem para redução do consumo de materiais, para reciclagem e para eficiência energética de edificações.

Palavras-Chave: borracha, condutividade, térmica, paredes, concreto.

1. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são finitos e seu consumo é crescente. Assim, torna-se cada vez mais importante sua utilização de forma racional e a sua reutilização, quando oportuno. A indústria da construção é a maior do Brasil, se apresenta num quadro de expansão e com potencial de crescer ainda mais, considerando as necessidades de crescimento do país e a deficiência na habitação e na infraestrutura. Neste contexto, é de suma importância para essa indústria um crescimento sustentável, considerando a responsabilidade ambiental e social e sua viabilidade econômica. O aprimoramento de sistemas construtivos, através da incorporação de conceitos racionais, a tecnologia de projeto, a seleção de materiais e elementos e os modelos



de uso, operação e manutenção são fundamentais para o crescimento sustentável dessa indústria. Em se tratando especificamente dos materiais para construção, as diretrizes para sustentabilidade devem ser baseadas na redução do uso de matérias primas – pela maior eficiência ou utilização de materiais reciclados – e na maior durabilidade dos materiais produzidos. A utilização da borracha reciclada de pneus em concretos torna-se atrativa para melhoria das propriedades deste concreto, proporcionando sistemas mais leves, melhorando seu isolamento térmico, minimizando o consumo de agregados naturais, além de contribuir para a resolução de um dos problemas ambientais mais cruciais, a deposição dos resíduos sólidos.

O estudo das propriedades físicas e mecânicas dos concretos com agregados leves tem aumentado nos últimos anos devido às vantagens técnicas em relação aos concretos com agregados convencionais (ROSSIGNOLO, 2009). A baixa relação resistência peso do concreto constitui um problema econômico na construção de edifícios altos, pontes com grandes vãos e estruturas flutuantes. Para melhoria dessa relação pode-se diminuir a massa específica do concreto ou aumentar sua resistência. Nas últimas décadas tem-se conseguido, com sucesso, uma redução da massa específica do concreto através da utilização de agregados leves. A massa específica aparente desse tipo de concreto é de aproximadamente 1600 kg/m^3 e a resistência à compressão apresenta valores de 25 MPa a 40 MPa (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Segundo Morávia (2004), como principais aplicações, os concretos de agregados leve são utilizados em estruturas na forma de peças pré-moldadas, paredes moldadas in loco, lajes de edifícios com muitos pavimentos e tabuleiros de pontes com grandes vãos. Suas principais propriedades a serem observadas dizem respeito à trabalhabilidade do concreto, massa específica, resistência à compressão e propriedades térmicas, todas relacionadas com a redução da massa específica.

Considerando a utilização de sistemas construtivos mais racionais e sustentáveis, é que foi recentemente implantada no país a norma que estabelece requisitos mínimos para projeto e execução de sistema construtivo, que molda estrutura e fechamentos, simultaneamente, em paredes de concreto (NBR 16055). A norma tem por objetivo disseminar a tecnologia de um sistema construtivo rápido, com reduzido desperdício,



melhor qualidade, baixo custo e, conseqüentemente, mais sustentável. Já existem conjuntos habitacionais no país utilizando essa tecnologia, inclusive com certificação de selos de sustentabilidade como o Procel Edifica, Green Building Concil Brasil e Sustentax (COELHO, 2010) ou selos equivalentes. Por outro lado, também foi criada recentemente uma inédita Norma de Desempenho de Edificações até Cinco Pavimentos (NBR 15575), tendo como objetivo principal permitir que as edificações atinjam alguns requisitos de desempenho, com índices mínimos para segurança estrutural, estanqueidade à água, isolamento térmico, isolamento acústico, resistência ao fogo e durabilidade, a fim de melhor atender às necessidades dos usuários. Com isso, tornar-se-á necessário projetar de forma mais técnica, utilizando materiais mais eficientes e considerando requisitos que não são comuns em projetos convencionais, como o conforto acústico e o conforto térmico (THOMAZ, 2004; TAMAKI, 2010).

Nesse contexto, esse projeto de pesquisa propõe como objetivos a utilização de um material de construção sustentável, o concreto com borracha reciclada de pneus, para construir habitações com paredes de concreto, atendendo aos requisitos da norma NBR 16055, no que se refere ao comportamento mecânico, e com objetivo de melhorar o desempenho térmico das edificações, considerando os requisitos da norma de desempenho de edificações.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando atingir os objetivos propostos, foi desenvolvida uma metodologia experimental para a avaliação e comparação das propriedades térmicas do concreto com adição de resíduo de borracha, com as do concreto com agregados convencionais. O estudo analisou duas variáveis: i) as composições de concreto e de argamassa; (ii) a concentração de borracha (0%, 10% e 20% - em relação ao volume de concreto). A borracha de pneu utilizada foi passada na peneira de malha 4,75mm - representando 13,5% do total do material – e lavada com hidróxido de sódio (concentração 1M - 1 molar) para aumentar a hidroflicidade da superfície das partículas de borracha, esta apresentou diâmetro máximo de 4,8 mm e módulo de finura igual a 4,0. Utilizou-se para composição da mistura, areia média com diâmetro

máximo de 2,4 mm e módulo de finura de 2,8, brita 1, cimento tipo CP-V ARI-RS e aditivo plastificante redutor de água para concreto. Na continuidade da pesquisa, com o objetivo de reduzir ainda mais o custo do concreto com adição de borracha reciclada, foi avaliado a substituição da microssílica por metacaulim produzido em laboratório à diversas temperaturas. Este procedimento foi executado baseado em estudos realizados por Pelisser et al (2011), onde este descreve que é possível substituir 15% de microssílica por 10% de metacaulim, e atingir uma resistência um pouco superior e obter um índice de eficiência de consumo de cimento para concreto de 13 kg por metro cúbico por MPa obtido, e, para argamassa de 22,9 kg por metro cúbico por MPa obtido. Foram produzidas placas de concreto e argamassa (figura 1) com dimensões de 30 x 30 x 5 cm. Também foram produzidos corpos de prova cilíndricos para verificação da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dos concretos utilizadas para confecção das placas.

Figura 1: Placas de concreto e argamassa produzidas



Fonte: do Autor.

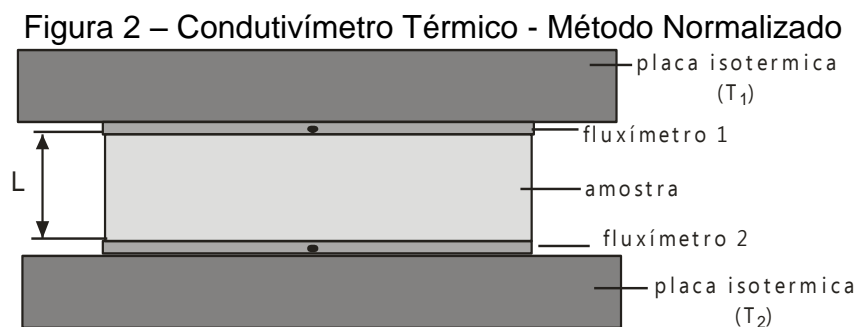
As composições utilizadas para produção das placas de concreto e argamassa podem ser observadas na tabela 1. Para o cálculo da porcentagem de borracha em relação ao volume de concreto, foi adotada a massa específica da borracha igual a $0,917 \text{ g/cm}^3$, e a massa específica do concreto e da argamassa, de $2,35 \text{ g/cm}^3$ e $2,10 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

Tabela 1 – Composições de concretos e argamassas com borracha reciclada

| COMPOSIÇÕES | Concreto | | | Argamassa | | |
|--|---------------|-----|------|-------------|-----|------|
| | CI | CII | CIII | AI | AII | AIII |
| Traço unitário (1:a:b:a/c) | 1:2,3:2,7:0,5 | | | 1:2,3:0:0,5 | | |
| Adição metacaulim (% de cimento) | 10 | | | 10 | | |
| Aditivo plastificante (% de cimento) | 1 | | | 1 | | |
| Volume da mistura (dm ³) | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| Adição de borracha (% do volume de concreto) | 0 | 10 | 20 | 0 | 10 | 20 |
| Borracha adicionada (g) | 0 | 500 | 1000 | 0 | 500 | 1000 |

Fonte: do Autor.

Os concretos foram caracterizados através de ensaios mecânicos de resistência à compressão (NBR 5739), módulo de elasticidade (NBR 8522, utilizando prensa servo-hidráulica com controle de carregamento, modelo 200CS, fabricante EMIC), densidade no estado endurecido (NBR 9778) e ensaios de condutividade térmica (ASTM C-177), realizados em placas com dimensões de 30 cm por 30 cm de lado e 5 cm de espessura. Para os ensaios mecânicos foram utilizadas 3 amostras e para os ensaios de condutividade, 2 placas para cada composição. Os ensaios de condutividade foram realizados no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, baseado na Norma Técnica ASTM C-177: “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus”. A Figura 2 mostra um esquema do dispositivo utilizado no ensaio:



Fonte: ASTM C-177



A resistência térmica foi determinada a partir da lei de Fourier:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{q}{A}\right)}$$

onde R é a resistência térmica ($m^2.K/W$), q é o fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W) e T_1 e T_2 , as temperaturas médias nas superfícies das amostras. Considerando que a amostra era homogênea, foi possível determinar a condutividade térmica do material (λ):

$$\lambda = \frac{L}{R}$$

onde λ é a condutividade térmica (W/m K) e L é a espessura da amostra (m).

As amostras para o ensaio térmico foram ensaiadas na condição de secas ao ar (idade de 28 dias), com uma temperatura média do ensaio em 20°C e uma diferença de temperatura entre as faces igual a 10°C.

As normas de Projeto e Execução de Paredes de Concreto (NBR 16055) e de Desempenho de Edificações (NBR 15575) foram utilizadas para análise e para especificação de uma composição de concreto com menor índice de condutividade térmica, desde que atingisse resistência à compressão maior ou igual a 25 MPa (NBR 16055, NBR 6118). Por fim, utilizou-se a NBR 16055, para dimensionamento de uma fachada leve.

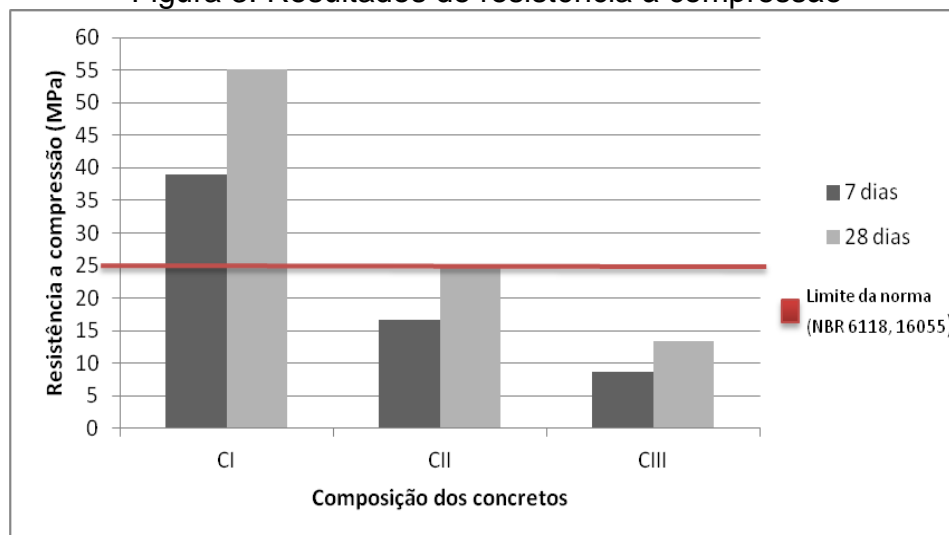
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

As composições de concreto com adição de borracha e metacaulim apresentaram propriedades mecânicas satisfatórias, considerando o percentual de borracha utilizado e o consumo de cimento. Na figura 3, podem ser observados os resultados de resistência à compressão dos concretos, mostrando uma resistência aproximada

de 25 MPa e 15 MPa aos 28 dias, para adição de 10% e 20% de borracha, respectivamente. Os resultados de resistência à compressão – utilizando 10% de borracha – atenderam aos critérios da norma de paredes de concreto (NBR 16055), que prescrevem uma resistência característica à compressão aos 28 dias entre 20 MPa e 40 MPa, atendendo, também, a classe de agressividade ambiental do local de implantação da estrutura (NBR 6118, NBR 16055).

Figura 3: Resultados de resistência à compressão



Fonte: do Autor.

Os resultados de resistência das argamassas serão determinados posteriormente, utilizando as placas do ensaio térmico, porém considerando as características dos materiais empregados e a mesma relação água/cimento. A título de comparação, para cálculo do índice de eficiência do consumo de cimento, podem ser utilizados os mesmos valores medidos nos concretos.

3.2 CONSUMO DE CIMENTO

O consumo de cimento ou o índice de eficiência de consumo de cimento, dado em $\text{kg.m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$, mostraram-se satisfatórios para os concretos com adição de borracha. Os resultados podem ser observados na tabela 2, onde se verifica um baixo consumo de cimento, de $13,6 \text{ kg.m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$, para o concreto com 10% de adição de

borracha. Em relação às argamassas, podem-se considerar os mesmos valores de consumo dos concretos.

Tabela 2: Consumo de cimento

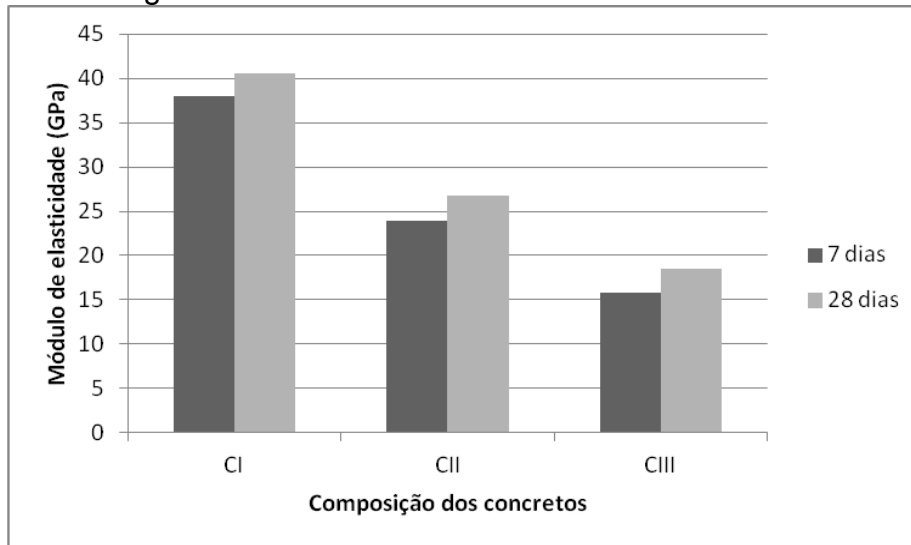
| Composições | Adição borracha (%) | Consumo aglomerantes (kg/m ³) | Consumo de cimento (kg.m ⁻³ .MPa ⁻¹) | Consumo aglomerantes (kg.m ⁻³ .MPa ⁻¹) |
|------------------|---------------------------|---|---|---|
| Concreto | 0 | 360 | 6,5 | 7,2 |
| | 10 | 340 | 13,6 | 15,0 |
| | 20 | 334 | 24,9 | 27,4 |
| Argamassa | 0 | 526 | - | - |
| | 10 | - | - | - |
| | 20 | 484 | - | - |

Fonte: do Autor.

3.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os resultados de módulo de elasticidade mostraram que a capacidade de deformação dos concretos é praticamente equivalente à recomendação da norma NBR 6118. Aplica-se a equação empírica ($E_{ci}=5600f_{ck}^{1/2}$) para estimar a capacidade de deformação a partir da resistência à compressão. Na figura 4, pode-se observar que o módulo de elasticidade é reduzido, em 32% (27 GPa) e 55% (18 GPa), para adição de 10% e 20% de borracha, respectivamente, em relação ao concreto sem borracha. Assim, caso fosse aplicada a norma NBR 6118, utilizando a resistência para estimar o módulo de elasticidade, esses resultados não experimentais seriam de 41 GPa, 28 GPa e 20 GPa, para adição de 0%, 10% e 20% de borracha, respectivamente. Dessa forma, os resultados podem ser considerados equivalentes, considerando a variação das médias obtidas. Deve-se ponderar, ainda, que a pequena diferença no módulo de elasticidade também ocorreu para o concreto de referência, podendo ser esse comportamento associado às características dos demais materiais utilizados. De qualquer forma, pode-se concluir que o concreto com borracha segue a orientação da NBR 6118.

Figura 4: Resultados de módulo de elasticidade



Fonte: do Autor.

3.4 MASSA ESPECÍFICA

Na tabela 3 podem ser verificados os resultados de massa específica seca do concreto endurecido. Os concretos atenderam à densidade para concreto normal e autoadensável de $2,0 \text{ g/cm}^3$ a $2,8 \text{ g/cm}^3$ (NBR 16055).

Tabela 3 – Resultados de massa específica

| Composições | Adição borracha (%) | Massa específica (g/cm^3) |
|------------------|------------------------|---|
| Concreto | 0 | 2,350 |
| | 10 | 2,210 |
| | 20 | 2,170 |
| Argamassa | 0 | 2,000 |
| | 10 | - |
| | 20 | 1,840 |

Fonte: do Autor.

Giacobbe (2008) produziu concretos de traço 1:5, com 7,5% e 15% de substituição de areia pelo resíduo de borracha, e obteve para a dosagem referência destes concretos uma massa específica $2,43 \text{ g/cm}^3$. Já para as dosagens com adição de 7,5% e 15% obteve massas específicas de $2,33 \text{ g/cm}^3$ e $2,21 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. Estes resultados obtidos por Giacobbe (2008) condizem com os obtidos neste

trabalho, ou seja, a massa específica dos concretos foi reduzida com o acréscimo de borracha, sendo que esta redução ocorreu em função da menor massa específica da borracha.

3.5 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Os ensaios de condutividade térmica mostraram uma forte tendência de redução dos índices de condutividade com a utilização da borracha, conforme verificado na tabela 4. O índice de condutividade térmica do concreto foi reduzido em aproximadamente 20% com o uso de 10% de borracha. O concreto com 20% de borracha e argamassa com 10% de borracha não foram considerados, pois apresentaram variações de rugosidade da superfície, prejudicando, dessa forma, a obtenção dos resultados experimentais. As argamassas mostraram um índice superior aos concretos, porém a redução com a utilização da borracha foi mais significativa, de aproximadamente 60%. O estudo foi conduzido preferencialmente à investigação das propriedades do concreto, porém, foram realizados ensaios de condutividade térmica com as argamassas, com objetivo de eliminar uma variável da composição (o agregado graúdo) e permitir um maior número de replicações, considerando, isoladamente, a concentração de borracha. Apesar das limitações dos resultados, foi verificado que todas as placas utilizando borracha apresentaram índices de condutividade térmica inferiores às placas sem borracha, evidenciando, assim, que o concreto e a argamassa com borracha melhoram o isolamento térmico.

Tabela 4 – Resultados de condutividade térmica

| Composições | Adição borracha (%) | Espessura da placa (mm) | Condutividade Térmica PL1 - (W/mK) | Condutividade Térmica PL2 - (W/mK) | Condutividade Térmica Média - (W/mK) |
|------------------|---------------------------|-------------------------------|--|--|---|
| Concreto | 0 | 51,9 | 1,25 | 1,52 | 1,38±0,19 |
| | 10 | 51,6 | 1,17 | 1,07 | 1,12±0,07 |
| | 20 | 51,3 | - | - | - |
| Argamassa | 0 | 52,4 | 1,97 | 2,13 | 2,05±0,11 |
| | 10 | 52,2 | - | - | - |
| | 20 | 51,1 | 0,86 | 0,78 | 0,82±0,06 |

Fonte: do Autor.

Considerando uma espessura de paredes externas em 15 cm (NBR 16055, valor mínimo de 10 cm) e os limites de condutividade térmica previstas na NBR 15575 para fachadas, calculou-se a resistência térmica total e a transmitância térmica da fachada (tabela 5). Foi obtido um índice de 3,57 W/(m².K) para o concreto, e de 3,33 W/(m².K) para o concreto com 10% de borracha. Essa diferença representa uma redução de aproximadamente 10%. Os resultados estão abaixo do recomendado pela norma NBR 15575 (transmitância térmica ≤ 3.7 W/(m².K). Na argamassa com 20% de borracha, foi verificada uma diferença mais significativa.

Tabela 5 – Resistência e condutividade térmica dos materiais

| Composições | Concreto (0%) | Concreto (10%) | Argamassa (0%) | Argamassa (20%) |
|--|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| Condutividade Térmica (W/mK) | 1,38 | 1,12 | 2,05 | 0,82 |
| Espessura (m) | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Resistência térmica (m ² K/W) | 0,11 | 0,13 | 0,07 | 0,18 |
| Resistência da superfície externa (m ² K/W) | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Resistência da superfície interna (m ² K/W) | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Resistência térm. total (m ² K/W) | 0,28 | 0,30 | 0,18 | 0,35 |
| Transmitância (W/m ² .K) | 3,57 | 3,33 | 5,55 | 2,86 |
| Limite - NBR 15575 (W/m ² .K) | 3,70 | 3,70 | 3,70 | 3,70 |

Fonte: do Autor.

A resistividade térmica é uma vantagem importante do concreto com borracha, principalmente para ser utilizado como placas em fachadas. O aumento do isolamento térmico, via de regra, contribui para eficiência energética das edificações, reduzindo os custos com energia para climatização. Esses resultados não



consideraram a determinação da carga térmica e condições específicas de envoltória para o cálculo de conforto térmico de uma edificação, mas mostraram a maior eficiência do concreto com borracha para o isolamento térmico de fachadas, o que, por sua vez, influencia na melhoria do conforto térmico das edificações, em clima tropical, como o Brasil. Esses resultados foram comparados aos obtidos por Sukontasukkul (2009), que avaliou as propriedades térmicas em concreto com borracha (com módulo de finura de 3,77), substituindo a areia em 0%, 10%, 20% e 30% (em massa), produzindo concretos com a densidade de 2,53 g/cm³, 2,10g/cm³, 1,93g/cm³ e 1,90g/cm³, e com índices de condutividade de 0,531 W/mK, 0,313 W/mK, 0,304 W/mK, 0,296 W/mK, respectivamente. Foi utilizado um consumo de cimento de 478,7 kg/m³ para uma resistência de 23 MPa (para 10% borracha), obtendo um índice de consumo de cimento de 20,8 kg.m⁻³.MPa⁻¹. A metodologia utilizada foi a mesma deste trabalho (ASTM C177), com amostras com tamanho de 30 cm por 30 cm de lado, porém com espessura de 25,4 mm (SUKONTASUKKUL, 2009). A tendência de melhora de isolamento térmico com utilização de borracha é similar nos dois estudos, porém os resultados de condutividade térmica são distintos, podendo ter sido influenciados pelas condições de ensaios, geometria da amostra e demais propriedades dos materiais constituintes.

3.6 DIMENSIONAMENTO DE UMA FACHADA LEVE

A partir dos resultados obtidos, foi dimensionada uma fachada leve utilizando 15 cm de espessura para as paredes, com o objetivo de atender aos critérios da NBR 16055/12 – “Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações - Requisitos e Procedimentos”.

O concreto com adição de 10% de borracha, estudado neste trabalho, obteve resistência a compressão superior a 25 MPa aos 28 dias, sendo que para sua produção foi utilizada uma relação a/c de 0,55. Este concreto atendeu aos critérios das NBR 6118 e NBR 16055, em relação à durabilidade em função da classe de agressividade ambiental. Além da resistência a compressão, comprovou-se através de ensaios, que o concreto com adição de 10% de borracha apresenta menor condutividade térmica que um concreto convencional, ou seja, este proporcionará



aos ambientes internos um maior conforto térmico, portanto, este foi o concreto utilizado no dimensionamento da fachada leve. Para o dimensionamento da parede em concreto armado, utilizaram-se armaduras verticais e horizontais. As armaduras horizontais corresponderam a 0,15% da seção de concreto, já as verticais obtidas utilizando aço tipo CA- 60 corresponderam a 0,09% da seção do concreto. O espaçamento máximo entre as barras das armaduras verticais e horizontais foi de 20 cm, considerando que o máximo espaçamento seria de 30 cm, conforme NBR 16055. Para reforço da estrutura, utilizaram-se telas soldadas dispostas longitudinalmente e próximas ao centro geométrico da seção horizontal da parede. Na fachada, as aberturas com dimensão horizontal maior ou igual a 40 cm, foram reforçadas com armaduras horizontais nas faces superior e inferior da abertura, utilizando seção da armadura mínima de 0,5cm² em cada face, e o comprimento que ultrapasse a face lateral da abertura em no mínimo o comprimento da ancoragem da barra acrescido de $\frac{1}{4}$ do vão horizontal da abertura.

Dimensionou-se a fachada com um cobrimento de armadura de 30 mm, conforme NBR 6118. Para prevenir o aparecimento de fissuras na fachada leve, foram colocadas juntas verticais de controle, com distanciamentos máximos de 6m. As tubulações verticais foram embutidas nas paredes de concreto, sendo utilizado um diâmetro máximo para as mesmas de 50 mm, para que estas tubulações não ultrapassassem 50% da espessura da parede, restando espaço suficiente para, no mínimo, o cobrimento adotado e a armadura, atendendo assim aos critérios da NBR 16055. Assim, atendendo aos itens descritos nos parágrafos acima, é possível executar paredes de concreto, seguindo os critérios das NBR 6118 e NBR 16055.

4. CONCLUSÕES

Com a realização dos ensaios e verificações propostos neste estudo, verificou-se que o concreto com borracha reciclada de pneus pode ser utilizado para construir paredes de concreto, considerando às recomendações da norma NBR 16055. As propriedades mecânicas da composição de concreto com 10% de borracha permitem utilizá-lo de forma econômica na construção de paredes de concreto, às demais especificações de projeto e com todas as contribuições para



sustentabilidade que esse sistema pode ter, como, por exemplo, a facilidade e rapidez para construção, economia de materiais e energia utilizada, redução das perdas e maior qualidade do sistema construtivo.

A utilização de borracha reciclada de pneus em concreto contribui para natural sustentabilidade de um material que, dentre outras vantagens ambientalmente corretas, reutiliza uma grande quantidade de resíduos das mais variadas indústrias e, reaproveita um tipo de resíduo com sérios problemas ambientais no mundo todo. Complementarmente, ao analisar as propriedades de condutividade térmica do concreto com borracha, pode-se verificar uma maior capacidade de isolamento térmico, o que contribui para implantação, na indústria da construção, de sistemas construtivos com melhor desempenho para atender as recentes prescrições da norma (NBR 15575), que torna obrigatórios índices mínimos de conforto térmico e acústico em edificações. Tal requisito de desempenho contribui para eficiência energética e economia na operação das edificações.

As diretrizes para sustentabilidade devem ser consideradas ao nível de projeto. Existem inúmeros obstáculos para melhorar a eficiência da indústria da construção, o que a torna especialmente atrativa para estudos que envolvam melhorias do processo de construção, utilização de materiais e elementos que considerem o consumo racional de materiais e a reciclagem, a economia de energia e a viabilidade econômica. Esses fatores contribuem para o desenvolvimento sustentável da indústria da construção, com responsabilidade social, para redução do impacto ambiental e para redução dos custos na construção e operação de edificações.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão - deformação*. Rio de Janeiro, 2003.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15.575: Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – desempenho*. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16.055: Parede de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações - Requisitos e Procedimentos*. Rio de Janeiro, 2012.

ASTM C-177. Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, 2010.

COELHO, Laurimar. **Carimbo Verde**. Revista Técnica, São Paulo, v. 18, n. 155, p. 32-39, fevereiro. 2010.

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento portland com adição de borrachas de pneus**. São Paulo, 2008. 106p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ªed. São Paulo: PINI. 573 p. 1994

MORÁVIA, W. G. **Comportamento térmico e avaliação microestrutural de concretos leves produzidos com argila expandida**. 2004. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Pelisser, F., Zavarise, N., Longo T.A., Bernardin, A.M., 2011. **Concrete made with recycled tire rubber: Effect of alkaline activation and silica fume addition**. Journal of Cleaner Production. 19, 757-763.

ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto leve estrutural**. 2009. 94 p. Texto (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

SUKONTASUKKUL, P. **Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel**. Construction and Building Materials. 23, 1084–1092, 2009.

TAMAKI, Luciana. **Vale o Desempenho**. Revista Técnica, São Paulo, v. 18, n. 158, p. 44-51, maio. 2010.

THOMAZ, Ercio. **Afinal, o que é a norma de desempenho**. Revista Técnica, São Paulo, v. 12, n. 86, p. 32-36, maio. 2004.