

CONCRETO LEVE COM BAIXO CONSUMO DE CIMENTO

SANTOS, Diego Costa (1), PELISSER, Fernando (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) diegosantos@ymail.com, (2) fep@unesc.net

1 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. O objetivo deste estudo foi produzir concreto leve com baixo consumo de cimento, utilizando borracha reciclada de pneus e adição mineral de metacaulim produzida em laboratório. Para análise do concreto foram realizados ensaios de plasticidade e massa específica no estado fresco e de resistência à compressão e módulo de deformação, no estado endurecido. A raspa de borracha reciclada de pneus foi aplicada em duas concentrações, 10% e 20% do volume do concreto. Nos concretos produzidos foi verificado uma redução na massa específica do concreto para 2000 kg/m³ e uma redução das propriedades mecânicas se comparado ao concreto de referência (sem adição de borracha e com adição de metacaulim). No entanto, essas composições de concreto leve, realizadas sem o agregado graúdo mostram índices de eficiência do consumo de cimento de 22.9 kg/MPa (486 kg/m³ / 21,2 MPa) [1], permitindo a construção de painéis leves para fachada com melhor isolamento térmico.

Palavras-Chave: Concreto leve, Borracha reciclada de pneus, Metacaulim.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, a indústria da construção civil consome grandes quantidades de matérias primas na execução de suas obras, gerando um grande volume de resíduos. Por isso tem-se total interesse em diminuir o consumo de recursos naturais utilizados por ela, promovendo técnicas construtivas que sigam as diretrizes para a sustentabilidade.

Para Resignolo [2], o concreto com agregados leves é aplicado em diversas áreas da construção civil, sua utilização justifica-se pela redução da massa específica do concreto, minimizando os esforços de carga aplicada nas estruturas de edificações, garantindo economia com formas e cimbramento, reduzindo gastos com o transporte e montagem de construções pré-fabricadas.

Neville [3], diz que o peso próprio dos elementos de concreto, pode apresentar uma grande proporção de carga a uma estrutura. Portanto, o uso de concretos com

massa específica reduzida pode resultar vantagens significativas quanto a elementos estruturais com menor seção transversal e uma correspondente diminuição das dimensões das fundações.

A utilização de borracha reciclada de pneus como agregado para produção de concreto leve contribui para a resolução de um dos problemas ambientais mais cruciais, a deposição dos resíduos sólidos. O acúmulo de pneus descartados no meio ambiente é de grande preocupação devido à difícil degradação da borracha.

John [4], Leite [5], apresentam o mercado da construção civil como uma das melhores alternativas para consumir materiais reciclados. Para eles não é preciso grande sofisticação técnica na produção da grande maioria dos componentes de uma edificação. O concreto merece destaque nesse cenário, pois é considerado o material mais utilizado justificado pela sua versatilidade, baixo custo, facilidade para fabricação, elevada resistência, impermeabilidade à água e elevada durabilidade. No que se refere às contribuições para sustentabilidade, o concreto apresenta grande potencial, pois pode utilizar em sua constituição materiais reciclados, seqüestra o CO₂ da atmosfera, é utilizado para deposição de rejeitos industriais e pode ser infinitamente reciclado.

Diversas pesquisas têm sido realizadas com a finalidade da utilização deste resíduo em materiais de cimento portland. Akasaki, Fioriti e Nirschl [6] confirmaram a viabilidade da utilização de fibras de borracha vulcanizada na construção civil. Esta confirmação veio a partir dos resultados dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e absorção de água. De acordo com Albuquerque [7], o comportamento de concretos com adição de borracha, quanto a resistência a tração e módulo de elasticidade, é atribuído à aptidão da borracha de suportar grande deformação elástica antes da fratura do concreto.

Os concretos produzidos com borrachas recicladas têm propriedades melhoradas mostram redução da permeabilidade "teórica" por ser um agregado hidrorrepelente, melhorando significativamente a durabilidade dos concretos, que geralmente têm seus processos de degradação associados à penetração de agentes agressivos e dióxido de carbono. No entanto, apresentam como principal problema a perda da resistência, levando a um aumento do consumo de cimento, para mesma classe de resistência. Dessa forma, com objetivo de viabilizar técnica e economicamente o

concreto leve foi avaliado o efeito da adição do metacaulim, que apresenta menores custos e impacto ambiental em relação a utilização do cimento Portland.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido analisando duas variáveis: i) a composição do concreto (conforme tabela 1); ii) a concentrações da borracha (0%, 10% e 20%). A borracha de pneus foi passada na peneira de malha 4,8mm - representando 13,5% do total do material – e lavada com hidróxido de sódio para aumentar a hidrofiliabilidade da superfície das partículas de borracha. Foi utilizado metacaulim produzido em laboratório e aditivo plastificante redutor de água para concreto e o teor de argamassa adotado foi de 55%.

Tabela 1: Misturas do concreto

TRAÇO EM MASSA (1:m)	TIPO DE MISTURA	TRAÇO EM MASSA (1:m)	TEOR DE BORRACHA (%)	TEOR DE ADITIVO (%)	(a/c)	ADIÇÃO DE METACAULIM (%)
1:5,0	REFEREN.	1:2,3:2,7	-	0,7	0,45	10
	COM 10%B	1:2,3:2,7	10	0,7	0,45	10
	COM 20%B	1:2,3:2,7	20	0,7	0,45	10
1:6,5	REFEREN.	1:3,13:3,38	-	0,7	0,65	10
	COM 10%B	1:3,13:3,38	10	0,7	0,65	10
	COM 20%B	1:3,13:3,38	20	0,7	0,65	10

Fonte: SANTOS, Diego Costa.

De acordo com o trabalho desenvolvido por Zavarise, Longo e Pelisser [8], concretos com a utilização de borracha reciclada de pneus perderam significativamente a resistência mecânica, que foi recuperada quase que em sua totalidade, através de um tratamento químico com hidróxido de sódio na concentração de 15% e pela adição de 15% de microsilica. Com o objetivo de reduzir ainda mais o custo do concreto com adição de borracha reciclada, foi adicionado metacaulim produzido em laboratório em substituição total da microsilica, utilizando a concentração de 10% da massa de cimento, uma vez que o metacaulim apresentou aumento da resistência em relação a microsilica [1].

Foram avaliadas as propriedades do concreto no estado fresco através do ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR NM 67) [9] e massa específica, e, suas

propriedades mecânicas através da resistência a compressão (NBR 5739) [10] e módulo de deformação (NBR 8522) [11].

2. 1 Materiais utilizados

Foi utilizado cimento Portland tipo CPV-ARI-RS, com suas propriedades apresentadas na tabela 2. O metacaulim foi produzido em laboratório, com sua caracterização apresentada na tabela 3. Demais detalhes do processo de obtenção e propriedades do metacaulim podem ser obtidos em Pelisser et al. [1]. Como agregados foram utilizados pedrisco, brita 1, areia média e areia fina.

Tabela 2 – Caracterização do cimento tipo CPV ARI RS.

Caracterização química (%)										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	Perda ao fogo (%)	Resíduo insolúvel (%)
22,61	6,61	3,30	52,66	5,62	3,04	0,06	1,07	2,45	3,42	10,96
Caracterização física e mecânica										
Tempo de Pega min.		Água de consistência (%)	Área específica Blaine (cm ² /g)	Resíduo # 200 (%)	Resíduo # 325 (%)	Exp. a quente (mm)	Resistência a compressão (MPa)			
Inicial	Final						1dias	3dias	7dias	
227	679	30,01	4843	0,10	1,54	0,29	21,5	34,3	38,5	

Fonte: Votorantin Cimentos s/a . Boletim de Análise de Cimento junho/2011

Tabela 3 – Caracterização da Metacaulim, calcinação (800 °C).

Caracterização química (%)			Caracterização física			Diâmetro médio das partículas
(%)SiO ₂	Al ₂ O ₃	Perda ao fogo (%)	10% inferior a	50% inferior a	90% inferior a	
(%)	(%)					
53,4	45,2	0,4	1,59	6,08	19,53	8,61

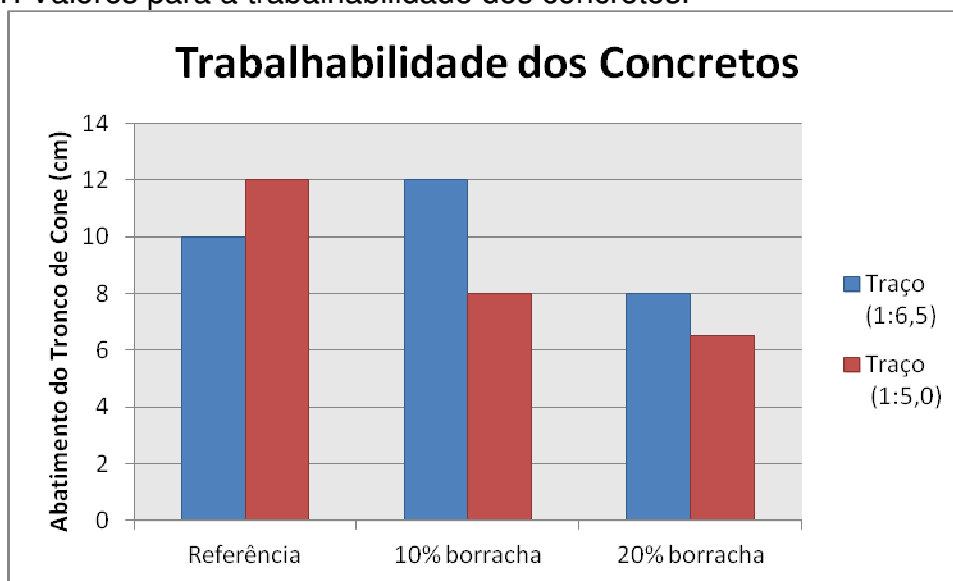
Fonte: Lightweight concrete production with low Portland cement consumption. Journal of Cleaner Production. Article in press (2011) [1].

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Propriedades no estado fresco

Considerando a plasticidade, medida pelo ensaio de abatimento (tabela 1), foi possível observar a necessidade de se aplicar uma correção na relação água/cimento, principalmente para adição de 20% de borracha ou aumentar a concentração de aditivo, a fim de manter a mesma classe de plasticidade.

Gráfico 1: Valores para a trabalhabilidade dos concretos.



Fonte: SANTOS, Diego Costa.

Foi possível verificar que para os dois traços com o acréscimo dos 10% de borracha os concretos tiveram comportamentos inversos, havendo uma redução da plasticidade para o traço (1:5,0) e o aumento da plasticidade para o traço (1:6,5). Quando acrescentado os 20% de borracha ambos os traços obtiveram iguais tendências na redução da plasticidade. Esses valores demonstram a influencia da borracha na necessidade da correção da relação água/cimento.

Para as misturas, a determinação da massa específica foi realizada com os concretos ainda no estado fresco e utilizando como parâmetro adotado para classe de concreto com agregado leve, as determinações presente na Coletânea de Ativos para Paredes de Concreto até Cinco Pavimentos, ao qual determina (tipo L2 - com 1500 a 1800kg/m³) para as massas específicas de concreto leve[1].

Os valores apresentados na tabela 4 demonstram a redução da massa específica dos concreto com o acréscimo da borracha e o efeito quanto a plasticidade.

Tabela 4 – Valores de Massa Específica e Abatimento Para os Concretos

Traço	Tipo de Concreto	Massa específica (kg/dm ³)	Abatimento por Tronco de Cone (cm)
Traço (1:5,0)	Referência	2,45	12
	10% borracha	2,19	8
	20% borracha	2,04	6,5
Traço (1:6,5)	Referência	2,43	10
	10% borracha	2,05	12
	20% borracha	1,97	8

Fonte: SANTOS, Diego Costa.

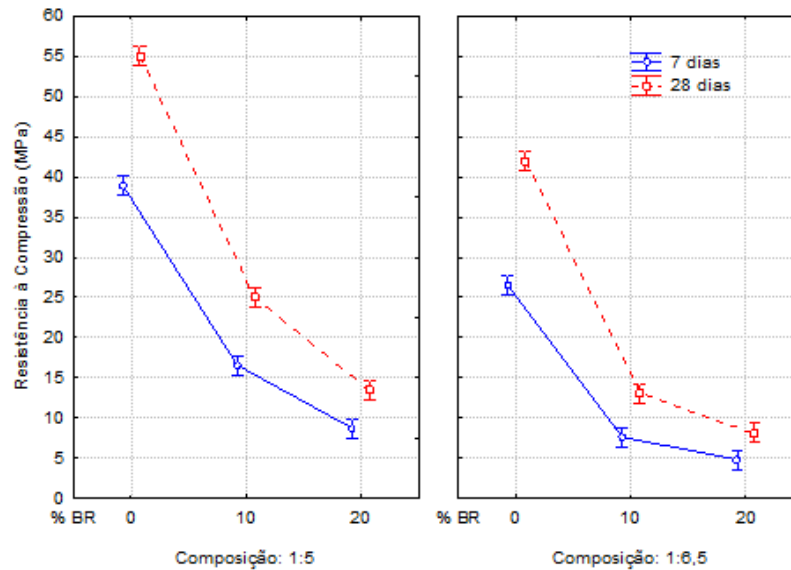
Na tabela 4 é possível analisar que para o traço 1:5,0 a adição de 20% de borracha reduziu 410 kg/m³ na massa específica do concreto referência, demonstrando uma redução de 63,57 kg/m³ no consumo de cimento. Para o traço(1:6,5) com adição de 20% de borracha, obteve-se a maior redução do valor da massa específica, sendo de 1970 kg/m³, representando numa redução de 458 kg/m³ e garantindo uma economia de 57,61 kg/m³ no consumo de cimento.

Esses valores demonstram uma redução da massa específica do concreto ao serem aplicadas as concentrações de borracha, característica que está associada a baixa massa específica da borracha. Os valores obtidos ainda encontram-se superiores aos índices determinados pela classe de concreto com agregado leve (tipo L2 - com 1500 a 1800kg/m³), mas ainda assim é justificada a utilização da borracha como agregado no concreto, pelo fato de obter-se valores significativos de redução da massa específica.

3.2 Propriedades mecânicas

Na verificação dos resultados, quanto à segurança estrutural ou resistência mecânica para o concreto com borracha, foi adotado como parâmetro de qualidade as definições e os critérios de dimensionamento presentes na Coletânea de Ativos para Paredes de Concreto até Cinco Pavimentos, que determina como resistência à compressão mínima de 20MPa [1].

Gráfico 2: Resistência a compressão.



Fonte: SANTOS, Diego Costa.

O gráfico 2 demonstra o comportamento dos concretos quanto a resistência a compressão para os dois traços em massa (1:5,0) e (1:6,5) e para as diferentes concentrações de borracha, 10 e 20% do volume do concreto na idade de 7 e 28 dias.

Para o traço em massa (1:5,0), na idade de 7 dias, o concreto referência atingiu resultados em média de 40,0 MPa demonstrando a alta resistência inicial adquirida pela utilização do cimento CPV ARI RS. Para os concretos com adição de borracha na concentração de 10% e 20% os valores atingidos foram em média de 18,0 MPa e 9,0MPa. Na idade de 28 o concreto referência obteve valor em média de 55,0 MPa e para os concretos com 10% e 20 % de borracha, os valores atingidos foram em média de 25,0 MPa e 14,0 MPa.

Analisando o gráfico 2 para traço em massa de (1:6,5), os resultados atingidos na idade de 7 dias, pelo concreto referência, alcançaram valores em média de 27,0 MPa e para as misturas de concreto com concentrações de borracha de 10% e 20%, os valores obtidos foram em média de 8,0 MPa e 5,0 MPa. Aos 28 dias o concreto referência teve um aumento no desempenho subindo a resistência a compressão para valores em média igual a 43,0 MPa, e os concretos com 10% e 20% de borracha chegaram a valores de resistência à compressão em média 14,0 MPa e 9,0 MPa.

Com a variação na concentração de borracha (0% para 10% e para 20%), foram identificadas nos concretos produzidos, queda da resistência mecânica, porém, quando os valores são verificados para classe de resistência esperada, sendo mínimo de 20 MPa, foi possível identificar principalmente para a concentração de 10% de borracha valores consideráveis de resistência a compressão, chegando a 25 MPa para o traço em massa (1:5,0). Os resultados obtidos demonstram eficiência mecânica, podendo ser relacionada ao efeito do metacaulim nas composições, ao qual, apesar dos resultados demonstrarem queda na resistência à compressão dos concretos com a aplicação da borracha, a utilização do metacaulim recuperou os resultados de resistência a compressão mantendo os concretos em bons patamares de desempenho.

Os valores obtidos são de grande importância para a caracterização do concreto com borracha, comprovando a possível aplicação da borracha como componente no concreto, demonstrando valores significativos de segurança estrutural, enquadrando esse tipo de concreto nos padrões estabelecidos na Coletânea de Ativos para Paredes de Concreto até Cinco Pavimentos (Resistência à compressão mínima de 20MPa), e garantindo a possibilidade de sua utilização para aplicações específicas. De acordo com a tabela 5 são demonstrados os valores da redução no consumo de cimento por MPa, atingidos pelos concretos com a aplicação do metacaulim.

Tabela 5 – Valores de consumo de cimento em (kg/m³) e em (kg/MPa).

Traço em massa	Tipo de Concreto	Consumo de cimento (kg/m ³)	Resist. Compressão (MPa)	Consumo de cimento (kg/MPa)
	Referência	380	55	7
traço (1:5,0)	10% borracha	340	25	13
	20% borracha	316	14	23
	Referência	298	43	7
traço (1:6,5)	10% borracha	252	14	18
	20% borracha	242	9	27

Fonte: SANTOS, Diego Costa.

De acordo com a tabela 5, quando analisado o consumo de cimento em relação à resistência à compressão, foi observado que para o concreto com 10% de borracha no traço em massa de (1:5,0), os índices de eficiência do consumo de cimento alcançaram patamares de 13,0 kg/MPa representando (340 kg/m³ / 25,1 MPa),

esses valores apresentaram redução de custos justificado pela recuperação da resistência proporcionada pela aplicação do metacaulim, acarretando em menor consumo de cimento para os patamares de resistência alcançado.

Complementando os resultados obtidos, em etapa anterior da pesquisa, foi realizada a produção do metacaulim em baixa temperatura para sua substituição a microssísila, com objetivo de reduzir o custo e aumentar a resistência do concreto leve. Na tabela 6, podem ser observadas as propriedades da composição mais eficiente [1].

Table 6 – Propriedades mecânicas: argamassa com 40% borracha e 10%metacaulim.

<i>Propriedades</i>		<i>Resultados (médios)</i>
Composição	Mistura (cimento:metacaulim:areia:borracha -em massa)	1:0,1:1,38:0,28
	Água/cimento	0,45
	Borracha (%volume da areia)	40
	Consumo de cimento (kg/m ³)	486
	Flow-table (cm)	28
Mecânicas	Resistência à compressão (MPa)	21,2±1,2
	Módulo de elasticidade (GPa)	18,5±1,3
	Massa específica seca (g/cm ³)	1,823±0,021

Fonte: (Pelisser, Barcelos, Santos, Peterson, Bernardin, (2011)[1].

Em contraste com recente estudo realizado quanto à resistência à compressão axial (Benazzouk et al. 2007) [1] ao qual foi utilizado um concreto sem metacaulim e com 40% de borracha (em função do volume), foram obtidos valores de resistência à compressão de 17 MPa, o que representou um consumo de cimento de 775 kg/m³. Usando o agregado de borracha, valores obtidos por Uygunoglu e de Topcu (2010) quanto resistência à compressão axial demonstraram variação de 17 e 10,4 MPa e de 14,5 a 5,3 MPa com 0,40 e 0,51 para relação a/c (água/cement+cinza_fly), na idade de 7 dias, com o acréscimo no índice de borracha de 0% para 50% do volume do agregado total. Usando o agregado de borracha no concreto provocou a redução na resistência à compressão aos 7 dias para 40-64%, já na idade dos 28 dias para 48-58%, em uma relação a/c varia de 0,40-0,51 respectivamente. O consumo de

cimento + cinza fly ash foi de 600 kg/m^3 das quais para as misturas utilizou-se de 450 kg de cimento e 150 kg de cinza. As finuras das partículas de areia e da borracha eram 2,07 e 1,5, respectivamente[1].

Apesar do consumo de cimento ter sido inferior em aproximadamente 7%, representando (486 kg), a resistência obtida foi 50% inferior. Considerando o índice de eficiência kg de cimento por MPa, foi atingido para a argamassa com 40 % de borracha em função do volume da areia um consumo de 22,9 kg/MPa, comparando com consumo de 45 kg/MPa para Benazzouk et al. (2007) e 43 kg/MPa para Uygunoglu and Topcu (2010). Khaloo et al. (2008) ao utilizar volume elevados de borrachas (12,5%, 25%, 37,5% and 50%) em substituição da areia, sendo observado uma queda da resistência de 30,77 MPa para 6,36 MPa e 1,22 MPa para 12,5% e 25%, respectivamente, obtendo um índice de consumo de cimento de 55 kg/MPa (350 kg/m^3) [1].

Um dos resultados com maior eficiência de consumo de cimento/MPa foi obtido por Aiello et al. (2010), utilizando concreto com borracha foi atingindo uma resistência de 20,4 MPa (ref. sem borracha – 27,1 MPa) foi constatado que para 30% de substituição da areia por borracha (decrece em torno de 25%) equivalendo um consumo de cimento de 16,4 kg/MPa – com densidade do concreto de 2195 kg/m^3 . Ganjian et al.(2009),Foi verificado também que para o concreto com substituição da areia pela borracha, pelo peso de 10% da areia, o consumo de cimento foi de 380 kg/m^3 e a resistência à compressão foi de 25 MPa com uma relação de 15,2 kg/MPa[1].

Em pesquisa realizadas por Son et al, (2011)sobre borracha-enchimento em concreto reforçado para colunas, utilizando partículas de até 1mm com a fração do peso da borracha de 1%, foi obtido valor de 14,7 kg/MPa representando ($329 \text{ kg/m}^3 / 22,4 \text{ MPa}$) no índice de consumo de cimento com uma redução da resistência à compressão de 20%. Comparando com a utilização da borracha em concreto, nesse trabalho foi obtido um índice no consumo de cimento em argamassa de 22.9 kg/MPa Pelisser et al. (2011), e para o concreto foi verificado uma relação no consumo de cimento de 13 kg/MPa ($260 \text{ kg/m}^3 / 20 \text{ MPa}$), utilizando a mesma composição da argamassa desse estudo aplicada no concreto com 45% de agregados graúdos (1:2,3:2,7 – cimento:areia:agregado graúdo), utilizando mais microssílica e ativação alcalina. Como referência, são considerados índices de consumo de cimento

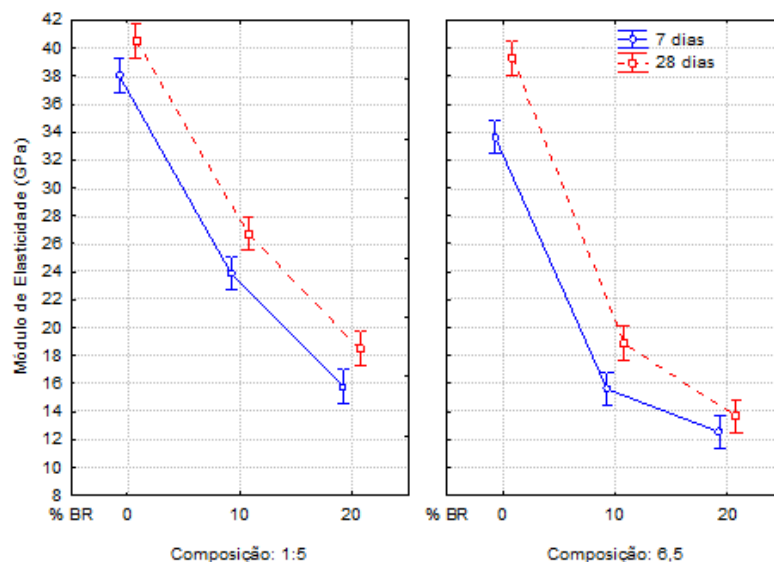
eficientes, situados entre 10 e 14 kg de clínquer/MPa Muller e Palm (2011), para concretos convencionais com classe de resistência média de 20 MPa) [1].

Com todas as exceções que se façam entre os diferentes estudos e as especificidades das propriedades dos materiais utilizados, um ponto vital técnica e economicamente viável, é o consumo de cimento e a resistência obtida, principalmente se considerarmos a aplicação de agregados ou concreto leve, sendo a relação kg/MPa um índice de desempenho do concreto com borracha e comparável entre diferentes estudos. Os resultados também melhoraram o índice de condutividade térmica das argamassas com borracha, ou seja é melhor isolante térmico (Pelisser, Barcelos, Santos, Peterson, Bernardin, 2011)[1].

3.3 Módulo de Elasticidade

De acordo com Neville [3] o módulo de elasticidade aumenta com a resistência do concreto e também depende do módulo de elasticidade do agregado e da proporção em volume do agregado no concreto.

Gráfico 3: Módulo de Elasticidade.



Fonte: SANTOS, Diego Costa.

No gráfico 3 são demonstrados os valores que expressam o comportamento dos concretos na idade de 7 e 28 dias, quanto ao módulo de elasticidade para os dois traços em massa (1:5,0 e 1:6,5) e para as diferentes concentrações de borracha (10 e 20% do volume do concreto).

Para os valores de módulo de elasticidade do traço em massa 1:5,0 na idade de 7 dias, foi observado no concreto referência, resultados em média de 38,0 GPa e os resultados atingidos pelos concretos as adições de borracha nas concentrações de 10% e 20% atingiram em 23,0 GPa e 16,0 GPa,

Na idade de 28 dias o concreto referência teve um aumento no desempenho no módulo para 42,0 GPa., os concretos com 10% e 20% de borracha atingiram valores de 27,0 GPa e 19,0 GPa,.

Para os valores de módulo de elasticidade do traço em massa 1:6,5, na idade de 7 dias foi observado para o concreto referência resultado de 33,0 GPa, para o concreto com adição de borracha na concentração de 10% e 20% atingiram patamares de 15,5 GPa e 12,5 GPa.

Na idade de 28 dias o concreto referência teve um aumento em média no desempenho indo para 39,0 GPa e para os concretos com 10% e 20% de borracha os valores em média atingidos foram de 18,5 GPa e 13,5 GPa, respectivamente.

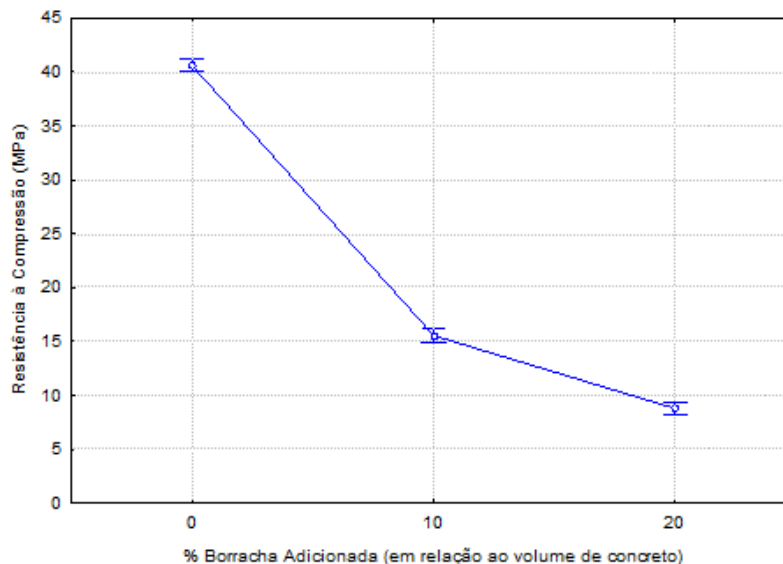
A capacidade de deformação dos concretos com borracha tem suas propriedades modificadas em comparação com os concretos convencionais, devido a borracha possuir módulo de deformação inferior ao do agregado miúdo.

Os concretos com borracha demonstraram valores de módulo de elasticidade inferiores aos atingidos pelo concreto referência, demonstrando características de maior deformação. Assim como na massa específica e na resistência mecânica os concretos com borracha alcançaram valores consideráveis no módulo de elasticidade mantendo baixo o consumo de cimento para essa classe de concreto.

4. ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS

No gráfico 4 o diagrama da resistência a compressão em função do teor de concentração de borracha em porcentagem do volume do concreto, é obtido com a média geral de todos os valores referente à idade, traço e resistência a compressão, isolando a variável concentração de borracha. Nele é possível identificar que o concreto referência possui uma tendência de ganho na resistência à compressão, dando a leve impressão de que o concreto com borracha tenha uma brusca redução no seu desempenho com a adição da borracha. Porém de acordo trabalho já desenvolvido por Zavarise, Longo e Pelisser [8], que recuperou a eficiência do concreto com borracha em quase toda a sua totalidade com a adição de Microsílica, é possível recuperar a eficiência do concreto com borracha mantendo-se os resultados em patamares próximos aos do concreto referência. No estudo quando aplicado o metacaulim ao concreto referência, potencializou-se esse concreto, contribuindo assim, para o ganho de resistência.

Gráfico 4: Resistência a Compressão, determinado a partir da média global das variáveis.



Fonte: SANTOS, Diego Costa.

5. CONCLUSÃO

Na redução da massa específica dos concretos com concentrações de borracha, quando comparados com o concreto referência foram obtidos bons desempenhos, chegando a 2000 kg/m^3 , havendo redução na massa específica do concreto, fato que era esperado por consequência do uso da borracha como agregado leve. Essa redução se torna viável, pois a diminuição nos valores da proporção de carga dos elementos de concreto reduz também a necessidade de estruturas muito volumosas, diminuindo significativamente a seção transversal dos elementos estruturais, sendo possível edificações com maiores vãos.

Nos valores referentes à resistência à compressão e módulo de elasticidade foi observada uma queda natural com a variação do traço e o grau de concentrações de borracha. Porém ao serem analisados os resultados, verificou-se que a queda na resistência à compressão e módulo de elasticidade demonstraram uma discrepância no comportamento do concreto referência, ao qual foi atribuído ao fato de ter sido adicionado o metacaulim produzido em laboratório, reagindo com o hidróxido de cálcio presente na hidratação do cimento, contribuindo assim, para o ganho de resistência e a redução no consumo de cimento, melhorando as características mecânicas do concreto referência. Possivelmente se ao concreto referência não tivesse sido adicionado o metacaulim seus valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade não teriam alcançado tais patamares de eficiência e o concreto com borracha mostraria valores de desempenho bem próximos aos do concreto referência.

A adição de borracha reciclada de pneus como agregado leve se mostrou uma ótima alternativa na redução do impacto ambiental, demonstrou redução na massa específica dos concretos e patamares de resistência e módulo de elasticidade significativos para específicas aplicações, como construir os painéis de concretos, técnica- economicamente viável e com reduzido impacto ambiental. O uso da borracha de pneu e do metacaulim na argamassa ou no concreto de pouco peso contribui à redução de materiais crus, na reciclagem do material e possibilitando a produção de materiais que podem ser utilizados em edificações com eficiência térmica melhorada.

6. REFERÊNCIAS

- [1] PELISSER F, BARCELOS A, SANTOS DC, PETERSON M, BERNARDIN AM. **Lightweight concrete production with low Portland cement consumption. Journal of Cleaner Production. Article in press.** DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.10.010.
- [2] ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura.** 2003. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2003.
- [3] NEVILLE, Adam Matthew. (Trad) Salvador E. Giammusso. **Propriedades do concreto.** 2 ed. ver. Atual. São Paulo: Pini, 1997
- [4] JOHN, V. M. ROCHA, J. C. **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Metodologia para Desenvolvimento de Reciclagem de Resíduos** – capítulo 2. Coletânea Habitare, vol 4. 2003.
- [5] LEITE, M. B. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição.** 2001. 290p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre.
- [6] AKASAKI, J.L.; Fioriti, C.F.; Nirschl, G.C. **Análise experimental da resistência à compressão do concreto com adição de fibras de borracha vulcanizadas.** CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43, 2001, Foz do Iguaçu, Anais.
- [7] ALBUQUERQUE, A.C.; CALMON, J.L.; SILVA FILHO, L.C.P.; GRAÇA, N.G. **A Caracterização Mecânica de CCR com Borracha de pneu** in: Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto, RCC Symposium, Salvador, 2008a.
- [8] ZAVARIZE N, LONGO, T. A. PELISSER, F. **Estudo da Utilização de Borracha Reciclada de Pneus em Concreto:** Capítulo de livro: **CONTRIBUIÇÕES DA ENGENHARIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**, ODEBRECHT; ed. São Paulo: Fundação Odebrecht, 2009, v.090786, p. 42-57 (2009).
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** (NBR NM 67) Rio de Janeiro: 1998. 8 p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de compressão de corpos - de prova cilíndricos - método de ensaio.** (NBR 5739), Rio de Janeiro: 2006. 12 p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão - deformação.** (NBR 8522) Rio de Janeiro: 2003. 9 p.



Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC -
Como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil

