



7 e 8 Novembro 2012

A UTILIZAÇÃO DE CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA NA PRODUÇÃO DE PILARES: estudo de impacto econômico e ambiental

Hugo Sefrian Peinado¹

Willian Wagner de Freitas Santos²

Romel Dias Vanderlei³

José Luiz Miotto⁴

Marisa Fujiko Nagano⁵

RESUMO

O estudo de implantação de novas tecnologias ou da utilização de alternativas tecnológicas já existentes visando à sustentabilidade na construção de edificações, questões ambientais e a diminuição do consumo dos recursos terrestres tem permeado discussões no meio técnico nas últimas décadas. Uma das alternativas tecnológicas ainda não largamente empregada é o Concreto de Alta Resistência (CAR), que é um material com microestrutura mais densa, propiciando maiores resistências e menor permeabilidade, possibilitando a construção de elementos estruturais com menores dimensões e maior durabilidade. Outro aspecto, relacionado à questão ambiental, destaca que, na produção do cimento, há uma geração média de 830 kg de CO₂ por tonelada de cimento e alto consumo energético. Desta forma, o presente trabalho objetiva avaliar os impactos econômicos e ambientais decorrentes da utilização de CAR no dimensionamento e execução de pilares em edificações residenciais ou comerciais. Para isso, foi estabelecido um carregamento padrão para um pilar de seção transversal quadrada e analisou-se o dimensionamento dessa seção, custo de execução para concretos com f_{ck} variando de 20MPa a 50MPa e consumo de cimento por elemento estrutural. Os resultados mostraram que com o aumento da resistência à compressão do concreto é possível obter pilares com menores dimensões, proporcionando maior aproveitamento dos espaços com menor custo e, ainda, reduzindo os danos causados ao meio ambiente no que se refere ao menor consumo de cimento por elemento estrutural.

Palavras-chave: Viabilidade Econômica. Sustentabilidade. Durabilidade. CAR.

¹ Mestrando, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana-PEU, hspeinado@gmail.com

² Acadêmico, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Engenharia Civil, willian.wwfs@gmail.com

³ Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, rdvanderlei@uem.br

⁴ Prof. Dr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, jlmiotto@uem.br

⁵ Mestranda, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana-PEU, nfmarisa@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O estudo de implantação de novas tecnologias ou da utilização de alternativas tecnológicas já existentes, mas pouco empregadas, visando à sustentabilidade na construção de edificações, questões ambientais e a diminuição do consumo dos recursos terrestres tem permeado discussões técnicas nas últimas décadas, como é possível constatar por meio da bibliografia corrente (WHARTON, PAYNE, 2003; ISOLDI, SATTler, GUTIERREZ, 2006; AGOPYAN, JOHN, GOLDEMBERG, 2011). No entanto, conforme destacam Wharton e Payne (2003), o processo de inovação na construção, além de ser bastante diferente quando comparado às outras indústrias, apresenta entraves relacionados à natureza física da construção, à organização econômica, social e ao contexto cultural na qual está inserida e, ainda, segundo Agopyan, John e Goldemberg (2011), para que haja a efetiva implantação destas inovações visando a sustentabilidade, faz-se necessária a incorporação de mudanças em todas as atividades relacionadas à construção.

Assim, ao destacar a temática da sustentabilidade no contexto do desenvolvimento tecnológico, John, Sjöström e Agopyan (2002) apontam esta como uma iniciativa em produzir bens que gerem a menor carga ambiental possível, no intuito de preservar o ambiente de degradações futuras. Os autores ainda enfatizam que, para a obtenção do desenvolvimento sustentável, torna-se necessário desvincular o desenvolvimento tecnológico à carga ambiental, ou seja, deve-se procurar obter o mesmo desempenho com consumos menores de materiais, reduzindo, dessa forma, a extração de materiais da natureza e a produção de resíduos e poluentes, dentre outros.

Partindo dessa consideração, uma das proposições que visa estabelecer um vínculo entre o desenvolvimento e a redução do consumo de materiais é o aumento da durabilidade dos elementos estruturais produzidos que, por sua vez, resulta em maior vida útil (JOHN, SJÖSTRÖM, AGOPYAN, 2002; MENDES, 2002). A vida útil de um sistema, segundo a ABNT NBR 15575-1:2008, é entendida como o período no qual o mesmo mantém o desempenho esperado, sendo que suas atividades de manutenção previstas foram executadas. Ainda, segundo Borges (2008), não apenas a vida útil adequada para as habitações, como os custos de manutenção no pós-obra, o nível de patologias e defeitos aceitáveis, dentre outras questões, devem, também, compor o arcabouço da discussão a respeito da sustentabilidade nas edificações.

Dessa forma, conforme destacam John, Sjöström e Agopyan (2002), a durabilidade não é uma característica intrínseca a um material, ou seja, alterações em detalhes (de projeto e execução) que propiciem maior proteção ao componente contra agentes de degradação podem aumentar a sua vida útil sem, contudo, alterar substancialmente a carga ambiental total.

1.1 Concreto de Alto Desempenho ou Alta Resistência

Ainda não há um consenso no meio técnico em relação aos significados dos termos *Concreto de Alta Resistência* (CAR) e *Concreto de Alto Desempenho* (CAD), sendo que o CAD apresenta maior abrangência que o CAR devido às outras características verificadas no material além de sua resistência à compressão.

Tanto o CAR quanto o CAD tem se constituído como alternativas tecnológicas visando maior durabilidade dos elementos estruturais de uma edificação, conforme apontam Mehta e Monteiro (2008), Mendes (2002) e Barata (1998).

Mehta e Monteiro (2008), em uma das definições apresentadas, consideram concreto de alta resistência aquele que possui resistência superior a 40 MPa fazendo uso de dois argumentos, quais sejam: há necessidade de maior controle de qualidade e cuidados na seleção e dosagem dos materiais constituintes quanto se dá a produção de concretos com classificação de resistência acima de 40 MPa e, ainda; existem estudos experimentais os quais mostram que concretos com resistência superior à 40 MPa apresentam microestrutura e propriedades diferentes dos concretos convencionais (20 à 40 MPa).

Mendes (2002) expõe que, no que se refere à concretos de alta resistência, principalmente aqueles com superplastificante e sílica ativa, há um aumento da resistência associado a uma microestrutura mais densa e com menor quantidade de vazios, desde que haja um acréscimo no consumo de cimento em função do acréscimo de resistência. Esses aspectos garantem aos elementos moldados com este concreto não apenas resistência à compressão, como também baixa permeabilidade, alta estabilidade dimensional, alta resistência à abrasão e ao ataque de agentes agressivos, ou seja, maior durabilidade.

No Brasil, a utilização de CAR ainda é restrita, conforme destaca Mendes (2002), em função de um desconhecimento das características, dos benefícios e dos custos de utilização do material. No entanto, algumas obras têm sido realizadas com CAR no país, demonstrando o interesse na aplicação desse material e em seu desenvolvimento. Conforme mostra Leal (2004), um exemplo foi a construção da Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas na cidade de São Paulo (SP), com 158 metros de altura (35 pavimentos), no qual houve aplicação de CAR nos pilares da edificação (concreto com f_{ck} de 50 MPa).

Com base no exposto, adota-se, para este estudo, a expressão concreto de alta resistência (CAR) para concretos com resistência igual ou superior à 40 MPa, nos quais o consumo de cimento se mostre gradativamente maior conforme aumenta-se a classe de resistência do concreto.

1.2 Consumo de cimento em concretos e a sustentabilidade

O crescimento econômico observado nos países em desenvolvimento tem sido acompanhado pela necessidade de investimentos em infraestrutura, no setor habitacional, dentre outros, gerando um aquecimento no mercado da construção civil. Conforme aponta Rebmann (2011), por ser o principal material de construção empregado no Brasil, o aumento do consumo de cimento é proporcional ao aquecimento da economia. Dados apresentados pelo último relatório do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2010), os quais corroboram tal prerrogativa, expõem que o consumo de cimento no país atingiu um total de 60 milhões de toneladas no ano de 2009, representando um aumento de 46% quando comparado a 2006 e, no ano de 2010, esse aumento foi de 15,6%, o que mantém o Brasil entre os maiores consumidores de cimento no mundo.

Uma série de relatórios, segundo apresenta Rebmann (2011), estima que haverá um aumento do consumo considerável de cimento para as próximas décadas. Isso, ainda segundo o autor, traz grandes impactos ambientais, uma vez que uma das principais consequências do aumento do consumo de cimento é o crescimento no consumo de energia para a produção e também a emissão de CO₂ na atmosfera, além da necessidade de instalação de novas unidades industriais, dentre outros aspectos.

A produção de cimento é um processo altamente energético e, conforme destaca IEA (2007 apud REBMANN, 2011), gera entre 650 a 900 kg de CO₂ por tonelada de cimento, sendo que a média ponderada dá-se em 830 kg CO₂ por tonelada de cimento. Esses valores se aproximam a todos os outros mencionados por Rebmann (2011), os quais variam entre 700 kg a 930 kg, dependendo do teor de clínquer utilizado na produção.

Dessa forma, é possível observar que são necessárias medidas de redução do consumo de cimento em concretos e, ainda, a elaboração de estudos técnicos que verifiquem qual a classe de resistência mais viável para o dimensionamento de cada tipo de estrutura que possibilite o menor consumo de cimento por estrutura/elemento estrutural.

2. JUSTIFICATIVA

Apesar de a utilização do Concreto de Alta Resistência ser uma tecnologia bem difundida em países mais desenvolvidos em relação ao concreto convencional, conforme destacam Cavalari e Carbonari (2006) e Mendes (2002), a realidade brasileira tem se mostrado diferente, sendo que a

utilização de CAR tem sido restrita a algumas aplicações apenas em grandes centros urbanos como Rio de Janeiro, Niterói, São Paulo e Brasília. Conforme já destacado, isso se dá em virtude de um desconhecimento das características, dos benefícios e dos custos de utilização do CAR em várias regiões do país. Com isso, estudos de viabilidade econômica em relação à esta tecnologia tornam-se fundamentais no intuito de desmistificar o uso desse material. O elevado custo por m³ do CAR deve ser confrontado com os seus pontos positivos: o aumento da vida útil dos elementos estruturais; a possibilidade de construção de pilares de seção menores; aumento da área útil da edificação; estruturas com menor peso próprio e; diminuição da carga nas fundações. Essas vantagens podem culminar em economia na produção da edificação.

Outro aspecto que corrobora o estudo deste material é a questão ambiental. Segundo Rebmann (2011), o crescimento econômico experimentado pelos países em desenvolvimento tem aumentado gradualmente o consumo mundial de cimento, material cuja produção está associada ao lançamento de enormes quantidades de CO₂ na atmosfera. Já que a aplicação de CAR resulta em pilares mais esbeltos, o que culmina em um menor consumo de concreto, há a possibilidade de um menor consumo de cimento por elemento estrutural, mesmo que o consumo de cimento/m³ de concreto aumente conforme se dá o incremento na resistência do concreto.

3. OBJETIVO

Constitui-se como objetivo do presente trabalho avaliar impactos econômicos e ambientais decorrentes da utilização de concreto de alta resistência no dimensionamento e execução de pilares em edificações residenciais ou comerciais.

4. LIMITES DO ESTUDO

O estudo se limita à avaliação dos concretos com resistência à compressão classificados no Grupo 1, conforme a ABNT NBR 8953:1992, sendo composto pelos concretos C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50, uma vez que a ABNT NBR 6118:2003 restringe o dimensionamento para estruturas com concretos de resistência superior à 50 MPa (C50).

5. MÉTODO

Para a elaboração do presente estudo, procedeu-se às seguintes etapas metodológicas:

- Dimensionamento de um pilar com altura fixa de 3,20 metros de comprimento e seção quadrada variável, para as seguintes classes de resistência à compressão do concreto: C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50, sendo submetido à carga de 100 tf.
- Avaliação da capacidade resistente da seção transversal do pilar baseada nas recomendações da ABNT NBR 6118:2003 e com a utilização do programa computacional *Oblíqua 1.0* (OLIVEIRA et al., 2000).
- Levantamento dos custos por m³ de concreto e do consumo de cimento por m³ para cada uma das classes de resistência especificadas junto ao setor comercial e ao laboratório de empresa idônea fornecedora de concreto;
- Levantamento dos quantitativos de insumos necessários à produção desse pilar a partir das dimensões obtidas por meio do cálculo estrutural;
- Levantamento dos custos unitários de material e mão de obra, praticados na cidade de Maringá (PR), necessários à produção desses pilares;
- Estruturação das composições para obtenção dos custos parciais dos materiais e mão de obra de cada etapa referente à produção dos pilares (formas, aço e concreto);

- Levantamento do consumo de cimento/pilar fazendo uso dos dados de consumo de concreto/pilar e do consumo de cimento/m³ de concreto, em função das diversas classes de resistência;
- Comparação dos resultados de custos de execução obtidos para os diversos pilares em função da classe de resistência do concreto;
- Comparação dos resultados de consumo de cimento/pilar obtidos para os diversos pilares em função da classe de resistência do concreto.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Critérios de dimensionamento do elemento estrutural

Os critérios de dimensionamento para os pilares do presente estudo seguem as prerrogativas dispostas pela ABNT NBR 6118:2003. Admitiu-se, para tanto, classe de agressividade ambiental II (moderada), a qual corresponde a um cobrimento de 30 mm para pilares e f_{ck} maior ou igual a 25 MPa, conforme exigido por essa norma. Mesmo a resistência do concreto sendo limitada a 25 MPa, no presente estudo, foram realizados os cálculos também para pilar com concreto de f_{ck} igual a 20 MPa por critérios de análise e comparação de valores, sendo, desta forma, um cálculo para referência.

Neste trabalho, procurou-se trabalhar com pilares curtos ($\lambda \leq \lambda_l$), uma vez que seu cálculo é mais simplificado e os momentos de primeira ordem são significativamente maiores que os de segunda ordem, conforme destaca a ABNT NBR 6118:2003. No entanto, a partir do pilar dimensionado com concreto C35, obteve-se pilares medianamente esbeltos ($\lambda \leq 90$) devido ao aumento da resistência do concreto e conseqüente redução das dimensões dos pilares, sendo, nestes casos, necessário considerar os efeitos de segunda ordem para estes pilares, adotando, para isso, o método do pilar padrão com rigidez κ aproximada.

Em posse das solicitações, utilizou-se o programa *Obliqua* versão 1.0, desenvolvido por Oliveira et al. (2000) para o dimensionamento da armadura e verificação da segurança do elemento estrutural. Os resultados desse dimensionamento são apresentados na seção 6.2 deste trabalho.

É válido salientar que todas as considerações tomadas para o cálculo dos pilares são fruto de um estudo generalista, sendo, assim, desconsiderada a presença de momentos maiores que os mínimos, bem como a influência da estabilidade global da edificação na determinação das solicitações ou das dimensões das peças.

6.2. Resultados do dimensionamento do pilar

A partir do dimensionamento dos pilares de seção quadrada, com lado igual a “b”, com carga de 100 tf, para cada uma das classes de concreto consideradas, foram obtidos os seguintes resultados quanto à quantidade e distribuição do aço e da seção de concreto, conforme apresentado na Tabela 1. O arranjo da armadura longitudinal foi fixado para todas as classes de concreto em 4 barras posicionadas nos cantos da seção transversal, conforme apresentado na Figura 1.

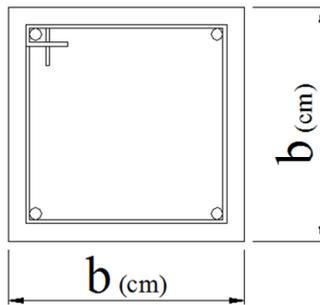


Figura 1 – Detalhe da distribuição da armadura na seção transversal do pilar.

Ainda, na Tabela 1, observa-se a relação de ganho de área útil percentual por meio da divisão do valor referente à área da seção transversal do pilar dimensionado para as diversas classes de resistência em relação ao pilar dimensionado com concreto de referência (C25 – concreto especificado para esse pilar no projeto estrutural de referência).

Tabela 1 – Dimensões dos pilares e armaduras longitudinal e transversal

Classe de Resistência do Concreto	Largura "b" do pilar (cm)	Área da seção transversal (cm ²)	Relação A_c/A_{c25}	Armadura Longitudinal	Armadura Transversal (Estribos)
C20	36,0	1296,00	1,19	4Ø12,5mm c = 3,76m	22Ø6,3mm c/15cm c = 1,34m
C25	33,0	1089,00	1,00	4Ø12,5mm c = 3,76m	22Ø6,3mm c/15cm c = 1,22m
C30	32,0	1024,00	0,94	4Ø12,5mm c = 3,76m	22Ø6,3mm c/15cm c = 1,18m
C35	30,0	900,00	0,83	4Ø12,5mm c = 3,76m	22Ø6,3mm c/15cm c = 1,10m
C40	28,0	784,00	0,72	4Ø12,5mm c = 3,76m	22Ø6,3mm c/15cm c = 1,02m
C45	26,0	676,00	0,62	4Ø16mm c = 3,92m	17Ø6,3mm c/19cm c = 0,94m
C50	24,5	600,25	0,55	4Ø20mm c = 4,10m	16Ø6,3mm c/20cm c = 0,88m

6.3. Dados de custo e do consumo de cimento por m³ de concreto

Os custos por m³ de concreto (R\$/m³) e o consumo de cimento por m³ de concreto (kg/m³), para cada uma das classes de resistência especificadas, foram fornecidos pela empresa fornecedora de concreto e são expressos na Tabela 2. É importante mencionar que, apesar de a ABNT NBR 12655:2006 destacar que o consumo mínimo de cimento por m³ de concreto deverá ser igual ou superior a 260 kg/m³ para a classe de agressiva I (fraca), na qual o risco de deterioração da estrutura é considerado insignificante, e 280 kg/m³ para a classe adotada de agressiva II, é possível verificar que, segundo o consumo fornecido, este quesito não é obedecido pela classe de concreto C20.

Tabela 2 – Custo e consumo de cimento por m³ de concreto para cada classe de resistência

Classe de Resistência do Concreto	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Custo (R\$/m ³ de concreto	227,76	242,32	256,88	260,00	275,60	310,00	330,00
Consumo de cimento (kg)/m ³ de concreto	258	282	301	322	371	417	458

Nota: Os valores mencionados na tabela se referem a concreto usinado com abatimento 10±2, Brita 0/1.

6.4. Quantitativos e custos parciais de insumos utilizados na produção dos elementos estruturais

6.4.1. Custos e insumos envolvendo o concreto

Os valores obtidos do custo do concreto (R\$/m³) junto aos custos de bombeamento (R\$/m³) e mão de obra empreitada (R\$/m³) resultaram no custo do concreto utilizado por m³ para cada uma das classes de resistência, como se relaciona na Tabela 3. A partir das dimensões dos pilares, expressas na Tabela 1, foi possível determinar o volume de concreto necessário à produção de cada um dos pilares e, por fim, o custo de cada um desses pilares no que se refere ao concreto (material e mão de obra), como consta na Tabela 3. Importa destacar que o custo para mão de obra empreitada de execução de formas, cimbramento, concretagem e desforma é de R\$ 363,00/m³ de concreto lançado, sendo que, deste valor, 10% é destinado ao serviço de concretagem (item 3 na Tabela 3). Ainda, nessa tabela, observa-se a relação de custos entre o concreto de referência necessário à produção do pilar e as outras classes de resistência do concreto.

Tabela 3 – Levantamento de custos e insumos envolvendo a produção do concreto

Resistência do Concreto	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Custo R\$/m ³ de concreto (1)	227,76	242,32	256,88	260,00	275,60	310,00	330,00
Bombeamento (R\$/m ³) (2)	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Mão de obra empreitada R\$/m ³ de concreto (3)	36,30	36,30	36,30	36,30	36,30	36,30	36,30
Custo (com mão de obra) R\$/m³ de concreto (1+2+3) = (4)	299,06	313,62	328,18	331,30	346,90	381,30	401,30
Volume de concreto (m ³) (considerando altura de 3,2 metros) (5)	0,41	0,35	0,33	0,29	0,25	0,22	0,19
Custo (com mão de obra) do concreto utilizado em cada pilar (R\$) (4x5)	124,03	109,29	107,54	95,41	87,03	82,48	77,08
Relação (concreto de referência C25)	1,13	1,00	0,98	0,87	0,80	0,75	0,71

6.4.2. Custos e insumos envolvendo as formas

Considerando as dimensões dos pilares obtidas no cálculo estrutural, calculou-se a área de fôrmas de cada pilar (m²), conforme critério da TCPO 14 (PINI, 2011). Com a composição proposta pela TCPO 14 para fabricação, montagem e desmontagem e com os custos dos produtos, foram obtidos os custos de materiais envolvendo a produção de formas. Os custos com mão de obra para execução dos serviços de formas, cimbramento e desforma pós concretagem equivalem à 90% do valor cobrado pela empreiteira, resultando no custo/m³ de concreto lançado destacado em (3). Multiplicando o custo da mão de obra/m³ de concreto lançado pelo volume de concreto utilizado em cada pilar (5) da Tabela 3, obteve-se o custo da mão de obra empregada na produção de formas de cada pilar (4). Assim, multiplicando-se a área de formas (1) (m²) pelos custos dos materiais empregados nas formas (2) (R\$/m²) e somando aos custos de mão de obra por pilar (R\$/pilar), foram obtidos os custos dos materiais e mão de obra que envolvem a produção de formas (5). Os dados destacados são apresentados na Tabela 4. Ainda, nessa tabela, observa-se a relação de custos entre as formas necessárias ao pilar do concreto de referência (C25) com as formas dos outros pilares em estudo.

Tabela 4 – Levantamento de custos e insumos envolvendo a produção de formas

Resistência do Concreto	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Área de formas (m ²) (1)	4,61	4,22	4,10	3,84	3,58	3,33	3,14
Custo (materiais) por m ² de forma (R\$/m ²) (2)	45,01	45,01	45,01	45,01	45,01	45,01	45,01
Custo (mão de obra de execução de formas e cimbramento) por m ³ de concreto lançado (R\$/m ³) (3)	326,70	326,70	326,70	326,70	326,70	326,70	326,70
Custo (mão de obra) por pilar em função do volume de concreto (R\$/pilar) (3x5 Tabela 3) = (4)	135,49	113,85	107,05	94,09	81,96	70,67	62,75
Custo (materiais e mão de obra) de formas (R\$/pilar) (1x2+4)= (5)	342,88	303,96	291,40	266,92	243,27	220,46	203,90
Relação (C25)	1,13	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67

Nota: Para a composição do custo dos materiais (2) foram utilizados apenas os materiais que compõem as composições de Fabricação e Montagem das formas dos pilares presentes na TCPO 14 (PINI, 2011), uma vez que, no serviço de desmontagem, não há o emprego de materiais, apenas de mão de obra. Os custos com mão de obra de fabricação, montagem e desmontagem de formas foi considerado empreitado e corresponde ao valor destacado em (3).

6.4.3. Custos e insumos envolvendo as armaduras

A partir dos dados apresentados na Tabela 1 no que se refere às armaduras dos pilares, foi possível calcular os custos de aço necessários à execução de cada pilar (2), os quais, somados com os gastos de mão de obra (3x1), resultam no custo com mão de obra por pilar no que se refere às armaduras (material e mão de obra), conforme Tabela 5. Ainda, nessa tabela, verifica-se a relação de custos entre a armadura necessária ao pilar do concreto de referência (C25) com a armadura dos outros pilares do estudo.

Tabela 5 - Levantamento de custos e insumos envolvendo a produção de armaduras

Resistência do Concreto	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Consumo de aço/pilar (kg) (1)	21,72	21,07	20,85	20,42	19,99	28,66	43,89
Custo do Aço por pilar (R\$) (2)	65,43	63,34	62,64	61,24	59,84	84,44	128,46
Mão de obra empreitada (R\$/kg aço) (3)	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
Custo (material e mão de obra) do aço utilizado para cada pilar (R\$) (2+3x1) = (4)	94,10	91,15	90,16	88,20	86,23	122,27	186,40
Relação (C25 – concreto de referência)	1,03	1,00	0,99	0,97	0,95	1,34	2,05

Nota: Os custos utilizados para cada bitola de aço se referem à peças de aço cortado e dobrado em fábrica, sem perdas que onerem a produção do elemento estrutural, sendo estes valores adotados conforme segue: $\phi 6,3$ – R\$3,24/kg; $\phi 12,5$ – R\$2,90/kg; $\phi 16$ – R\$2,90/kg; $\phi 20$ – R\$2,90/kg. Além disso, importa destacar que a conversão do aço de metros para quilogramas se deu com os valores de conversão estabelecidos pela ABNT NBR 7480:2007.

6.5. Avaliação de custos (R\$) e do consumo de cimento (kg) por pilar

Somando-se os valores resultantes das Tabelas 3, 4 e 5, no que se refere à produção do concreto, das formas e da armadura, respectivamente, obtêm-se os custos totais para execução

(material e mão de obra) de cada um dos pilares dimensionados, os quais encontram-se relacionados na Tabela 6, junto à relação de custo entre o pilar de referência e os outros pilares em estudo.

Tabela 6 – Custos totais de execução de cada pilar

Classe de Resistência do Concreto	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Custo Total de cada pilar (considerando material e mão-de-obra na produção do concreto, aço e formas) (R\$/pilar)	561,01	504,40	489,10	450,53	416,53	425,21	467,38
Relação (C25 – concreto de referência)	1,11	1,00	0,97	0,89	0,83	0,84	0,93

Além disso, a partir do consumo de cimento por m³ de concreto (kg/m³) observado na Tabela 2 e com o volume de concreto necessário a cada pilar dimensionado (Tabela 3), é possível obter o consumo de cimento por elemento estrutural (kg/pilar), conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo de cimento por pilar (kg/pilar)

Classe de Resistência do Concreto	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50
Consumo de cimento por pilar (kg/pilar)	105,78	98,70	99,33	93,38	92,75	91,74	87,02
Relação (C25 – concreto de referência)	1,07	1,00	1,01	0,95	0,94	0,93	0,88

Dessa forma, os gráficos que sintetizam as informações de custos (R\$/pilar) e do consumo de cimento por pilar (kg/pilar) apresentadas nas Tabelas 6 e 7 são expressos na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente.

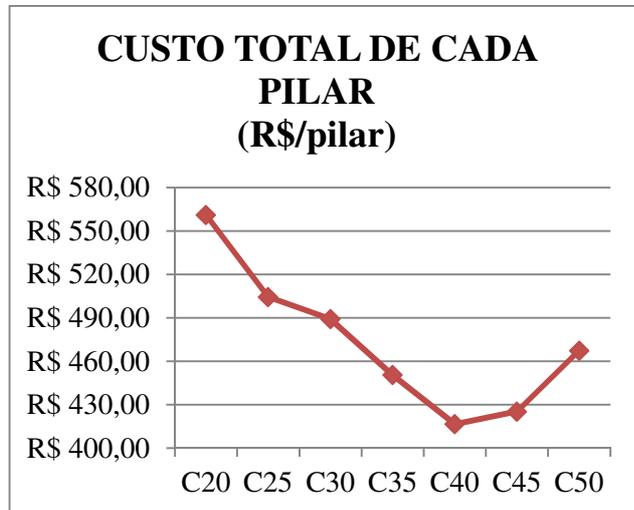


Figura 2 – Custo (R\$/pilar)

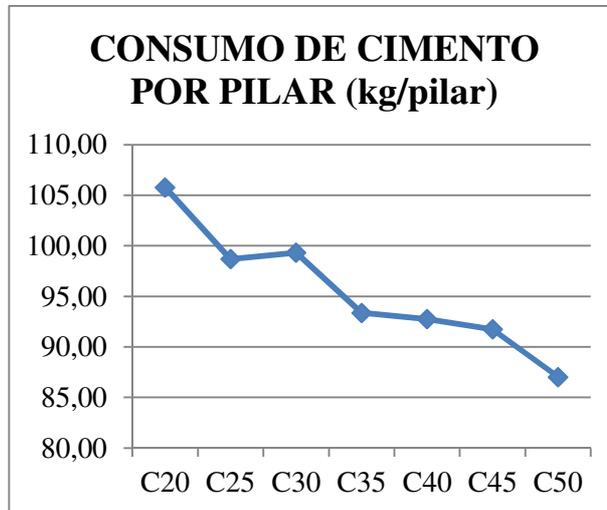


Figura 3 – Consumo de cimento (kg/pilar)

7. CONCLUSÃO

A partir dos resultados, é possível verificar que o custo do concreto e das formas para os pilares em estudo decresce com o aumento da resistência do concreto, como esperado. No entanto, o aço teve um comportamento diferente, sendo que houve pequena diminuição do consumo de aço até o pilar calculado com concreto C40 e, com os pilares calculados com os concretos C45 e C50, houve um acréscimo no consumo de aço.

Dessa forma, a partir da soma dos valores, resultando no custo total da produção de cada pilar (Tabela 6), verifica-se que, conforme se dá o aumento de resistência, até o pilar com concreto C40, há um decréscimo do custo/pilar, o que evidencia sua viabilidade econômica nesse caso.

Ainda, os pilares dimensionados com concreto C45 e C50 apresentaram custo de execução inferior aos pilares dimensionados com os concretos C20, C25 (referência) e C30, o que resulta na premissa de que, para esse caso, ainda é interessante fazer uso do concreto C45 ou do C50, uma vez que há ganho econômico e, além disso, há um aumento significativo na durabilidade do elemento estrutural, conforme destaca a bibliografia.

Ainda, com o acréscimo da resistência, a área da seção do pilar é reduzida, conforme observa-se na Tabela 1. Assim, ao tomar-se como referência a seção do pilar C25, há uma redução de seção de 38% e 45% para os pilares dimensionados com C45 e C50, respectivamente. Aplicando esse fator nos outros pilares do pavimento, isso representaria uma redução da área ocupada pelos pilares de aproximadamente 40%, resultando em um aumento de área útil.

Também, a partir da análise do consumo de cimento por pilar (kg/pilar), conforme Tabela 7, é possível verificar que, para as condições deste estudo, conforme se aumenta a resistência do concreto há a diminuição do volume de concreto por pilar, resultando na diminuição do consumo de cimento por pilar, o que culmina em resultados satisfatórios no quesito ambiental no que se refere ao consumo de cimento, uma vez que há a diminuição da emissão de CO₂ na atmosfera. Importa destacar que, para uma avaliação completa quanto aos quesitos ambientais, variáveis como aço e formas deveriam compor o estudo, uma vez que, apesar da diminuição do consumo de cimento, há o aumento do consumo de aço.

Assim sendo, mesmo considerando que o modelo adotado para o dimensionamento dos elementos estruturais interfere diretamente no estudo de viabilidade econômica e de consumo de materiais, com o estudo realizado foi possível verificar que, com a utilização do CAR e com aumento do consumo de cimento/m³ de concreto conforme se dá o incremento de resistência, além de todas as características apresentadas pela bibliografia - dentre elas a alta durabilidade das peças estruturais -, é possível obter pilares mais esbeltos, proporcionando maior aproveitamento dos espaços (principalmente com a preocupação cada vez maior a respeito de vagas de garagens em subsolos de edifícios residenciais e comerciais) com custo inferior ao de uma peça em concreto convencional e, ainda, reduzindo os danos causados ao meio ambiente no que se refere ao consumo de cimento.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V; JOHN, V.M.; GOLDEMBERG, J. (Coord.). **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. v.5. São Paulo: Blucher, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **ABNT NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificações. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **ABNT NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **ABNT NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2008.

BARATA, M.S. **Concreto de alto desempenho no estado do Pará**: estudo de viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do

emprego de adições de sílica ativa e metacaulim. 1998. 188p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

BORGES, C.A.M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. São Paulo: EPUSP, 2008. 19p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/515).

CAVALARO, S.H.P.; CARBONARI, G. Avaliação da viabilidade econômica da utilização de concreto de alto desempenho e lajes planas protendidas em edifício residencial: estudo de caso. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v.27, n.1, p. 39-56, jan./jun.2006.

ISOLDI, R. A.; SATTTLER, M. A.; GUTIERREZ, E. Tecnologias inovadoras visando a sustentabilidade: um estudo sobre inovação, técnica, tecnologia e sustentabilidade em arquitetura e construção. In: Seminário Internacional sobre inovações tecnológicas e sustentabilidade, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAU/USP, 2006.

JOHN, V.M.; SJÖSTRÖM, C.; AGOPYAN, V. Durability in the built environment and sustainability in developing countries. In: International Conference on Durability of Building Materials and Components, 9., 2002, Brisbane – 9th DBMC. **Proceedings...** Melbourne: CSIRO, 2002. p.1-7

LEAL, U. Concreto de Auto Desempenho: a construção da torre mais alta do Brasil. **Revista Techne**, São Paulo, n.82, jan.2004.

MENDES, S.E.D.S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 163p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

OLIVEIRA, M. F. F. D.; ZANDONÁ, C. A. W.; MARINO, M. A.; SCHEER, S. **Oblíqua 1.0: Flexão Composta**. CESEC: UFPR - Curitiba, 2000. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/concretoarmado/normal2.htm>>. Acesso em: 2 ago. 2012.

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório anual 2010**. Rio de Janeiro: SNIC, 2010. 118p. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2010-11_web.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2012.

PINI. **TCPO** – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos. São Paulo: PINI, 2011.

REBMANN, M.S. **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência**. 2011. 213p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

Wharton, A., Payne, D. Promoting innovation in construction SMEs: an EU case study. **Sustainable building and construction**, v.26, n.2-3, p.76-79, abr./set. 2003.