ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise da influência do empacotamento granular no custo do concreto usinado: Um estudo de caso em Belém do Pará

Analyses of the influence of granular packaging on the cost of machined concrete: A case study in Belém do Pará

Luma Tamires Correa Guimarães
UFPA | Belém do Pará| Brasil | lumatcg@hotmail.com
Silmara Gracielle Alves de Brito
UFPA | Belém do Pará | Brasil | silmara_gracielle@yahoo.com.br
Samuel Oliveira de Queiroz
GPMAC | UFPA | Belém do Pará | Brasil | samueloliver1010@gmail.com
Bruno Lôbo de Almeida
GPMAC | UFPA | Belém do Pará | Brasil | brunolobo003@gmail.com
Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
GPMAC | UFPA | Belém do Pará | Brasil | lupcordeiroo@gmail.com
Mariana Domingues von Paumgartten
GPMAC | UFPA | Belém do Pará | Brasil | marianadvp@ufpa.br
Isaura Nazaré Lobato Paes
GPMAC | UFPA | Belém do Pará | Brasil | isaurapaes@ufpa.br

Resumo
O estudo objetiva avaliar a influência do empacotamento granular no custo do concreto usinado. Primeiramente, realizou-se a preparação de misturas de concreto com agregado graúdo de faixas granulométricas distintas. Posteriormente, realizou-se um estudo de custo com os materiais necessários para produção do concreto empacotado. Após a obtenção dos resultados, observou-se uma redução de 13% no custo do concreto empacotado, quando comparado ao concreto comercializado na região metropolitana de Belém do Pará. Desse modo, a técnica do empacotamento mostrou-se muito vantajosa, permitindo assim, maior competitividade de preço e aumento do lucro de usinas de concreto.

Palavras-chave: Empacotamento granular. Concreto usinado. Custo.

Abstract
The study aims to evaluate the influence of granular packaging on the cost of ready-mixed concrete. Firstly, concrete mixtures were prepared with coarse aggregate of different particle size ranges. Subsequently, a cost study was carried out with the materials needed to produce packaged concrete. After obtaining the results, a 13% reduction in the cost of packaged concrete was observed, when compared to concrete sold in the metropolitan region of Belém do Pará. Thus, the packaging technique proved to be very advantageous, thus allowing greater price competitiveness and increased profit for concrete plants.

Keywords: Granular packaging. Machined concrete. Cost.

Como citar:
GUIMARÃES, L. T. C. et al. Análise da influência do empacotamento granular no custo do concreto usinado: Um estudo de caso em Belém do Pará. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

O concreto é um material heterogêneo composto por cimento, água e agregados como areia, brita e seixo; além disso, pode conter aditivos e adições. Quando esses componentes são misturados, formam uma mistura que pode ser moldada em várias formas e usada em diversas aplicações. É importante destacar que a preparação do concreto pode ser feita manualmente, usando betoneiras, ou em centrais dosadoras. Sendo assim, dependendo do método de preparação, o concreto é classificado como usinado ou pré-misturado.

Comumente, os agregados são responsáveis por ocupar o maior volume do concreto. Sendo assim, além da relevância estrutural, pois contribuem na eficiência do concreto, os agregados também possuem importância econômica devido ao seu custo-benefício, pois são materiais de menor valor comercial quando comparados ao cimento Portland. Contudo, o cimento é o componente que desenvolve as principais propriedades do concreto, como a resistência mecânica, por exemplo.

O efeito da indústria de agregados é grande e diversificado, tornando a área uma das mais relevantes para efeito de análise econômica no setor da construção civil. Nos EUA, a indústria de agregados sustenta $ 122 bilhões em vendas, $ 32 bilhões em receitas nacionais e entre 364.000 e 600.000 empregos em uma variedade de ocupações e indústrias [1].

Depois da década perdida, a partir dos anos 90, ocorreu o fim das taxas de inflação e a retração de financiamentos e do mercado consumidor. As empresas do ramo construtivo brasileiras começaram a procurar métodos que as tornassem competitivas, buscando, principalmente, a redução de custos e aumento de produtividade. Sendo assim, a análise de custos tornou-se essencial para qualquer alteração nas empresas do ramo construtivo.

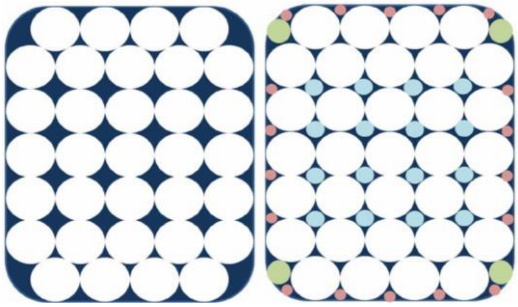
Segundo Cembureau, apesar da recessão das grandes potências mundiais, a produção do cimento Portland continuou em caráter expressivo [2]. Em relação ao Brasil, em 2014 atingiu-se o ápice de consumo, somando um valor de aproximadamente 71,7 milhões de toneladas [3]. No entanto, diante do encarecimento do crédito, da retração econômica e da perda de confiança de empresários e consumidores, ocorreu a redução do ritmo de vendas de imóveis, forçando os investidores a adotarem medidas que tornassem os empreendimentos mais viáveis com o menor custo [4].

Diante da crise econômica do país, que refletiu diretamente no segmento da construção civil, ocorreu uma queda nesse valor para 52,7 milhões de toneladas em 2018 [5]. Sendo assim, reduzir o valor do concreto para tornar o orçamento das obras mais rentáveis tornou-se uma das alternativas mais buscadas, devido ser utilizado em grandes volumes e apresentar grande participação no montante do empreendimento. Portanto, devido o cimento ser o material com maior custo no concreto, estudos para a técnica de empacotamento granular cresceram ao longo do tempo.

De acordo com Rebmann, o empacotamento consiste na obtenção de misturas com densidade de empacotamento elevada, reduzindo assim, o volume de vazios da microestrutura do concreto [6]. Desse modo, essa técnica visa otimizar o consumo de

cimento nos traços de concretos, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e econômicos em concretos do tipo convencional e de alta resistência, sem causar danos nas suas propriedades mecânicas. Sendo assim, segundo Castro e Pandolfelli, o projeto da distribuição das partículas é fundamental, pois promove o empacotamento e, juntamente com o fluido, define as propriedades reológicas do material durante o processo de mistura e no estado fresco [7]. Portanto, o empacotamento granular é uma ferramenta que busca encontrar o melhor arranjo entre as partículas (figura 1), objetivando diminuir o número de vazios e, assim, melhorar a resistência à compressão do concreto, sem a necessidade de uma maior adição de cimento [8].

Figura 1: Otimização de uma mistura de concreto por meio da técnica de empacotamento de partículas.



Fonte: Campos, Marques Filho e Kleim (2016).

Neste contexto, o estudo objetiva avaliar a influência do empacotamento granular no custo do concreto, no intuito de tornar o produto mais competitivo no mercado da construção civil através da diminuição do consumo de aglomerante.

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

Utilizou-se como aglomerante hidráulico o CP II-F-40 (cimento Portland composto com fíler da classe de resistência de 40 MPa) com massa específica de 3,15 g/cm³, obtida através da NBR 16605 [9]. Outros dados de caracterização fornecidos pelo fabricante estão dispostos na tabela 1, sendo que, os mesmos, encontram-se em consonância com as recomendações normativas da NBR 16697 [10]. Quanto a adição mineral, adotou-se uma sílica ativa de massa específica de 2,22 kg/m³.

Tabela 1: Caracterização do cimento.

Características		Fabricante	NBR 16697 [10]
Finura (%)		0,1	≤ 10
Tempo de Pega (min)	Início	240	≥ 60
	Fim	300	≤ 600
Resistência à compressão (MPa)	3 dias	25,2	≥ 15,0
	7 dias	32,2	≥ 25,0
	28 dias	45,1	≥ 40,0

Fonte: Os autores (2024).

Em relação aos aditivos químicos, utilizou-se um aditivo polifuncional redutor de água com massa específica de 1,16 g/m³, sendo adicionado o teor de 1% em relação a massa do cimento. Além deste, utilizou-se um estabilizador de hidratação com massa

específica de 1,12 kg/m³, adicionando-se um teor de 0,1% em relação a massa do cimento. Quanto a água utilizada, seguiu-se as orientações técnicas da NBR 15900 [11], utilizando-se água potável.

Quanto aos agregados utilizados no estudo, adotou-se como agregado graúdo a brita 0 e a brita 1, enquanto, como agregado miúdo, utilizou-se areia natural fina. Dentre os ensaios de caracterização realizados, destaca-se: massa específica, massa unitária, índice de vazios, pulverulência e composição granulométrica. Para a execução dos ensaios descritos acima, tanto nos agregados graúdos quanto no agregado miúdo, tomou-se como base, respectivamente, as prescrições técnicas das normativas: NBR 16916 [12], NBR 16917 [13], NBR 16972 [14], NBR 16973 [15] e NBR 17054 [16]. Alguns dos valores obtidos estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2: Caracterização dos agregados.

Ensaio	Material		
	Areia	Brita 0	Brita 1
Massa específica (kg/m³)	2618	2630	2630
Massa Unitária (kg/m³)	1585	1409	1439
Índice de Vazios (%)	39,45	46,42	45,28
Pulverulência (%)	3	0,6	0,5

Fonte: Os autores (2024).

Com a determinação das composições granulométricas, apresentadas nas tabelas 3, 4 e 5, obteve-se os módulos de finura (MF), os diâmetros máximos (DM) e as curvas granulométricas (figura 2). Sendo que, a partir das curvas granulométricas, torna-se possível avaliar o empacotamento dos grãos dos agregados e, assim, reduzir os vazios e melhorar a interação entre a pasta e os agregados.

Tabela 3: Distribuição granulométrica do agregado miúdo – areia natural.

Peneira (mm)	Massa (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
19	0,0	0%	0%
12,5	0,0	0%	0%
9,5	0,0	0%	0%
6,3	0,0	0%	0%
4,75	0,0	0%	0%
2,36	3,0	1%	1%
1,18	19,0	4%	4%
0,600	71,0	14%	19%
0,300	176,0	35%	54%
0,150	144,0	29%	83%
Fundo	87,0	17%	100%
Total	500,0	100%	-
Módulo de Finura (MF)			1,60
Diâmetro Máximo Característico (DMC)			1,18

Fonte: Os autores (2024).

Tabela 4: Distribuição granulométrica do agregado graúdo – brita 0.

Peneira (mm)	Massa (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
19	0	0%	0%
12,5	0	0%	0%
9,5	1205	24%	24%
6,3	2375	48%	72%
4,75	1000	20%	92%
2,36	0	0%	92%
1,18	0	0%	92%
0,600	0	0%	92%
0,300	0	0%	92%
0,150	0	0%	92%
Fundo	420	8%	100%
Total	5000	100%	-
Módulo de Finura (MF)			5,74
Diâmetro Máximo Característico (DMC)			12,5

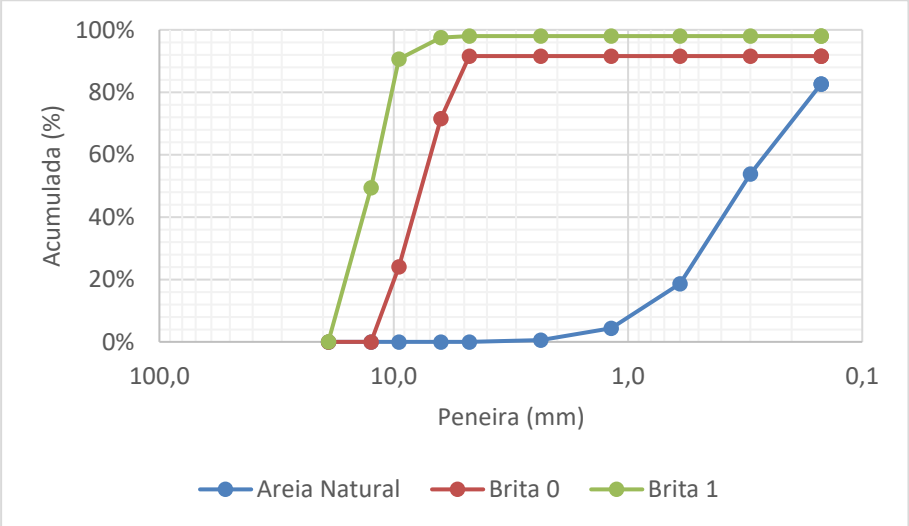
Fonte: Os autores (2024).

Tabela 5: Distribuição granulométrica do agregado graúdo – brita 1.

Peneira (mm)	Massa (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
19	5	0%	0%
12,5	2465	49%	49%
9,5	2065	41%	91%
6,3	340	7%	98%
4,75	25	1%	98%
2,36	0	0%	98%
1,18	0	0%	98%
0,600	0	0%	98%
0,300	0	0%	98%
0,150	0	0%	98%
Fundo	100	2%	100%
Total	5	0%	-
Módulo de Finura (MF)			6,79
Diâmetro Máximo Característico (DMC)			19

Fonte: Os autores (2024).

Figura 2: Curvas granulométricas dos agregados.



Fonte: Os autores (2024).

Tendo em vista os resultados da distribuição granulométrica, pode-se concluir que os agregados graúdos não apresentam uma quantidade elevada de finos, contabilizando menos de 10% de massa retida acumulada. Vale ainda salientar que, no processo de obtenção desta matéria prima, uma das etapas é a lavagem do material, o que colabora de forma significante para a redução dos finos nas superfícies dos agregados.

MÉTODOS

O estudo objetiva avaliar a influência do empacotamento dos agregados no custo final de concretos usinados. Sendo assim, essa técnica teve como finalidade investigar o teor que apresenta o melhor desempenho nos ensaios de resistência à compressão, a fim de obter um concreto com menor consumo de aglomerante e, consequentemente, com menor custo por metro cúbico.

ESTUDO DO EMPACOTAMENTO GRANULAR

Para a avaliação do empacotamento granular, utilizou-se o método de análise da compacidade pelo método da caixa. Basicamente, consiste em determinar a massa unitária das combinações de teores de brita 0 e brita 1 (tabela 6), no intuito de encontrar a mistura granular que promova o menor de volume de vazios. Tendo em vista que os espaços vazios são preenchidos pela pasta de cimento, quanto menor o número de vazios, menor será o consumo de cimento no concreto, tornando a mistura mais econômica.

Tabela 6: Combinações de teores de brita 0 e brita 1.

Traços	Teores de brita
T1	10% de brita 0 + 90% de brita 1
T2	15% de brita 0 + 85% de brita 1
T3	20% de brita 0 + 80% de brita 1

Fonte: Os autores (2024).

Inicialmente, para verificar a massa unitária (ρ_{ap}) das combinações, determinou-se a massa do recipiente vazio (m_r) e secou-se o material na estufa, com temperatura compreendida entre 100 °C e 110 °C por aproximadamente 24h. Posteriormente, de posse do material seco, fez-se o enchimento do recipiente em três camadas de 1/3 da altura, aplicando-se 25 golpes com a haste de adensamento, de forma uniforme e bem distribuída. Por fim, procedeu-se com o nivelamento da superfície com uma régua metálica e determinou-se a massa do conjunto recipiente + agregado (m_{ar}). Os valores de massa unitária foram obtidos através da Equação 1. Além disso, obteve-se os valores dos índices de vazios das combinações através da Equação 2.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

$\rho_{ap} =$ massa unitária, em kg/m^3;
$V =$ volume do recipeinte, m^3;
$m_{ar} =$ massa do conjunto recipiente + agregado, em kg;
$m_r =$ massa do recipiente vazio, em kg.

$$E_v = \frac{100 * [(\rho_1 * \rho_w) - \rho_{ap}]}{\rho_1 * \rho_w} \quad (2)$$

$E_v =$ índice de volume de vazios nos agregados, em %;
$\rho_1 =$ massa específica relativa do agregado seco, em kg/m^3;
$\rho_w =$ massa específica da água, em kg/m^3;
$\rho_{ap} =$ massa unitária média do agregado, em kg/m^3.

DOSAGEM E PRODUÇÃO DO CONCRETO

Com a definição do teor que apresentava o melhor empacotamento, desenvolveram-se os estudos de dosagens para as relações a/c: 0,5; 0,7 e 0,9. É importante destacar que se optou por utilizar essas relações devido serem mais recorrentes na rotina da usina de concreto em estudo. Sendo assim, no cálculo dos materiais para a produção do concreto, utilizou-se o método de dosagem de concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), sendo este, o método utilizado pela empresa que estava sendo avaliada. Portanto, em relação à dosagem do traço, consiste inicialmente em fixar o fator a/c, alterando-se apenas o teor de areia. Desse modo, tornando-se possível avaliar visualmente o teor de argamassa no estado fresco.

Vale salientar que, com base nos quantitativos dos traços, apresentados na tabela 7, a ordem de colocação dos materiais na betoneira seguiu as orientações técnicas da NBR 12821 [17]. Sendo assim, após o lançamento dos componentes de concreto na betoneira, adicionou-se os aditivos à mistura, que permaneceu em homogeneização por cinco minutos até a execução do slump test, sendo-o executado conforme as prescrições técnicas da NBR 16889 [18]. É importante salientar que, diante da necessidade de ajuste para o abatimento de 120 mm, acrescentava-se mais água à mistura e misturava-se por mais 10 minutos.

Tabela 7: Traços unitários.

Traços	Cimento	Sílica	Areia	Brita 0	Brita 1	Polifuncional	Estabilizador
T1	1	0,03	2,45	0,33	2,98	7,78	1,16
T2	1	0,03	2,32	0,52	2,92	7,78	1,16
T3	1	0,03	2,32	0,69	2,75	7,78	1,16

Fonte: Os autores (2024).

Portanto, formularam-se concretos com diferentes relações a/c (0,5; 0,7 e 0,9), no intuito de avaliar o impacto do esqueleto granular no custo de diferentes tipos de concreto. Salienta-se que, no processo, moldou-se sete corpos de prova de 10 x 20 cm para cada traço, sendo dois para rompimento com idade de três dias, dois para rompimento com idade de sete dias e três para rompimento com idade de vinte e oito dias.

ANÁLISE DE CUSTO

Obteve-se, nas usinas de concreto da região, os valores dos materiais para compor o custo unitário do metro cúbico do concreto empacotado – valores do ano de 2020. Desse modo, tornou-se possível calcular o custo para desenvolver 1 m³ de concreto empacotado nas classes de resistência C20, C30 e C40.

Posteriormente, utilizou-se a tabela 12/2020 do Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI) [19] como base de dados para fazer a comparação de custo com o concreto empacotado. Ressalta-se ainda que, os dados obtidos referem-se somente aos valores dos materiais, não sendo considerado o custo com equipamentos e mão de obra. Destaca-se ainda que, estes foram coletados na tabela de valores desonerados, ou seja, que não consideram contribuição previdenciária sobre insumos de mão de obra.

Por fim, com os custos por metro cúbico, tornou-se possível fazer comparações nacionais e locais do percentual de diferença entre o concreto empacotado e o concreto vendido na usina, no intuito de verificar quais as vantagens da técnica do empacotamento granular no custo do concreto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ESTUDO DO EMPACOTAMENTO GRANULAR

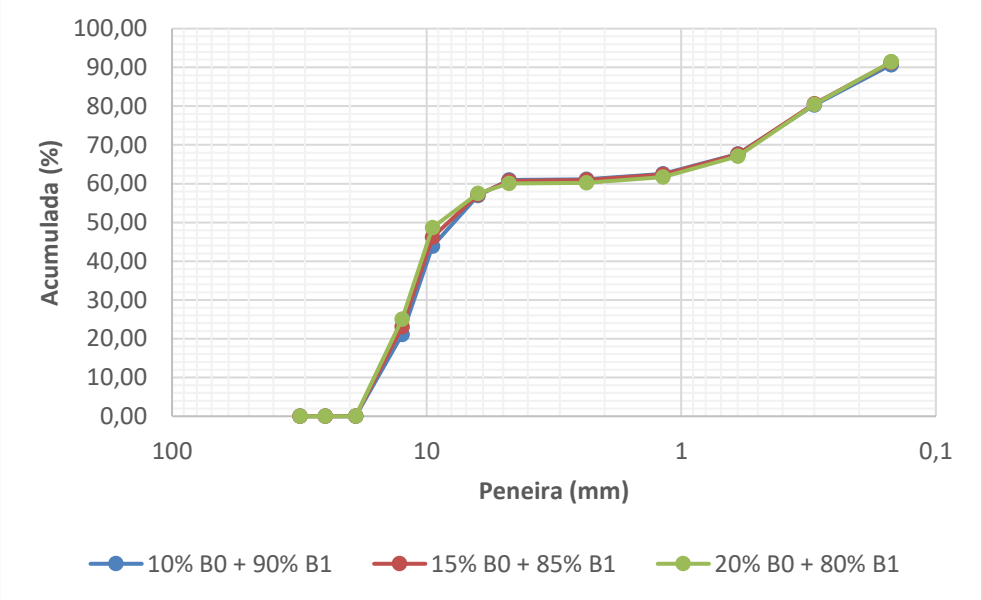
Na tabela 8, estão dispostos os resultados do empacotamento das britas 0 e 1 pelo método da caixa. Além disso, também é possível observar as distribuições granulométricas nas curvas dos agregados empacotados (figura 3). Portanto, pode-se observar que a combinação com 20% de brita 0 e 80% de brita 1 apresentou-se mais vantajosa, tanto ao que se refere à maior massa unitária quanto ao menor índice de vazios, devido a distribuição granulométrica obtida após o empacotamento granular dos agregados. Sendo assim, tendo em vista que os espaços vazios são preenchidos com pasta de cimento, o menor índice de vazios torna-se atrativo para a economia da mistura de concreto.

Tabela 8: Resultados do empacotamento das britas 0 e 1.

Teores de brita	Massa unitária (kg/m³)	Massa específica (kg/m³)	Índice de vazios (%)
10% de brita 0 + 90% de brita 1	1453	2772	47,58
15% de brita 0 + 85% de brita 1	1456	2776	47,55
20% de brita 0 + 80% de brita 1	1473	2781	47,03

Fonte: Os autores (2024).

Figura 3: Curvas granulométricas dos agregados empacotados.

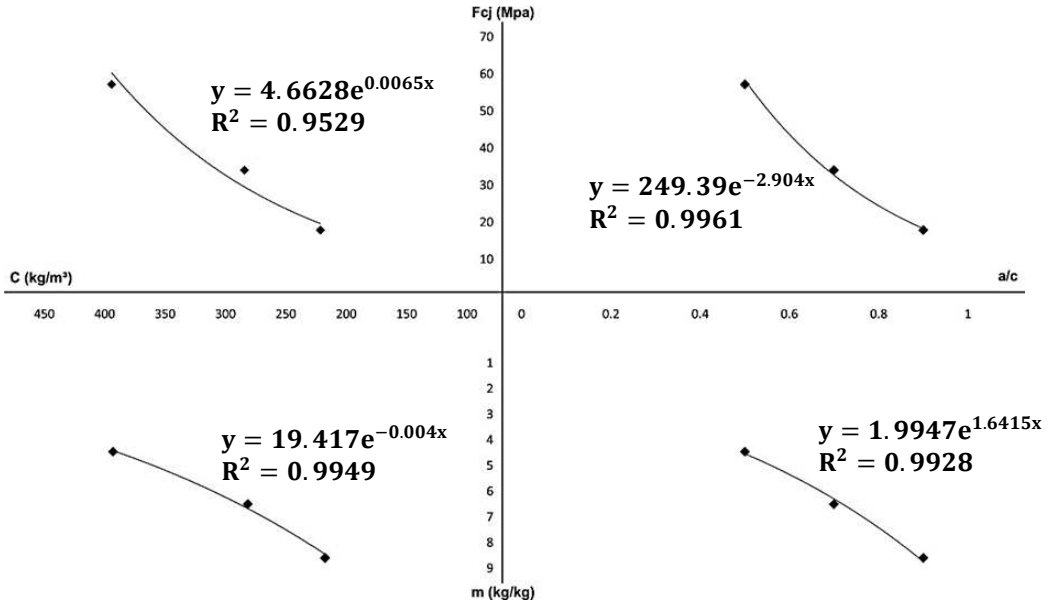


Fonte: Os autores (2024).

DOSAGEM E PRODUÇÃO DO CONCRETO

Na figura 04, apresenta-se o diagrama de dosagem elaborado em conformidade com os resultados obtidos aos 28 dias de idade dos traços dispostos na tabela 7. A partir deste, tornou-se possível extrair os dados necessários para a realização do cálculo de consumo de materiais por metro cúbico, unidade funcional no qual o concreto é comumente realizado. Portanto, na tabela 9 estão dispostos os consumos de concreto para as classes de resistência C20, C30 e C40.

Figura 4: Diagrama de dosagem.



Fonte: Os autores (2024).

Tabela 9: Consumos de materiais por metro cúbico.

Classe	Cimento (kg/m³)	Areia (kg/m³)	Brita 0 (kg/m³)	Brita 1 (kg/m³)	Sílica (kg/m³)	Aditivo (kg/m³)		Teor de argamassa
						Polifun.	Estab.	
C20	230,16	945,86	193,34	768,75	10,00	2,30	0,23	0,55
C30	280,40	894,48	190,67	768,30	10,00	2,80	0,28	
C40	324,13	855,72	191,24	771,44	10,00	3,24	0,32	

Fonte: Os autores (2024).

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ESQUELETO GRANULAR NO CUSTO DO CONCRETO

Na tabela 10, apresenta-se os custos dos concretos por metro cúbico, aos quais foram desenvolvidos com base no estudo do empacotamento granular do agregado. Enquanto, na tabela 11, dispõe-se os valores por metro cúbico dos concretos obtidos na base de dados.

Tabela 10: Custo do concreto empacotado.

Classes	Cimento (R$/m³)	Areia (R$/m³)	Brita 0 (R$/m³)	Brita 1 (R$/m³)	Sílica (R$/m³)	Aditivos (R$/m³)		Custo
						Polif.	Estab.	
C20	R$ 132,34	R$ 35,32	R$ 15,08	R$ 56,05	R$ 7,10	R$ 7,99	R$ 0,92	R$ 254,80
C30	R$ 161,23	R$ 33,40	R$ 14,87	R$ 56,02	R$ 7,10	R$ 9,73	R$ 1,12	R$ 283,47
C40	R$ 186,38	R$ 31,95	R$ 14,92	R$ 56,25	R$ 7,10	R$ 11,25	R$ 1,29	R$ 309,14

Fonte: Os autores (2024).

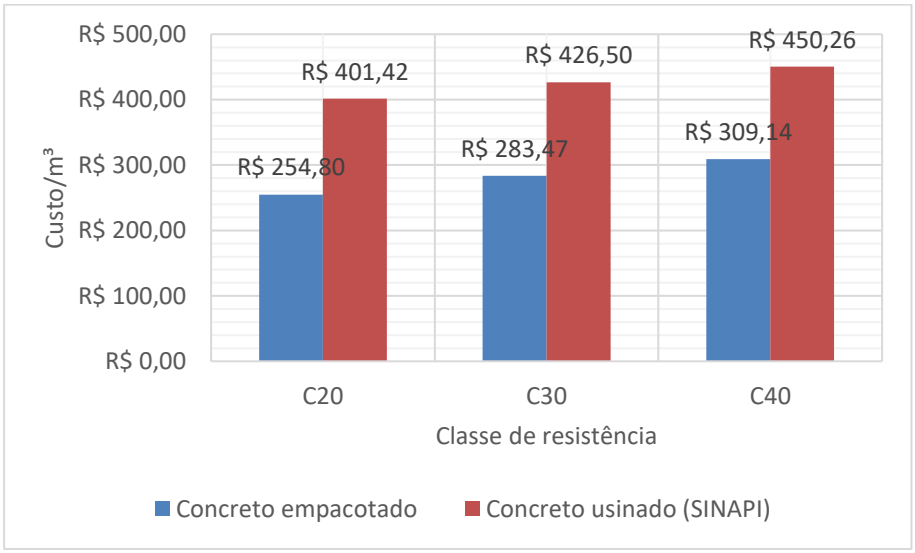
Tabela 11: Custo do concreto usinado.

Código	Descrição do insumo	Unidade	Quant.	Valor
34492	Concreto usinado, classe C20, c/ brita, slump test = 100+/-20 mm, excluso bomb.	m³	1	R$ 401,42
34494	Concreto usinado, classe C30, c/ brita, slump test = 100+/-20 mm, excluso bomb.	m³	1	R$ 426,50
34496	Concreto usinado, classe C40, c/ brita, slump test = 100+/-20 mm, excluso bomb.	m³	1	R$ 450,26

Fonte: SINAPI (2020).

Na figura 4, apresenta-se um gráfico comparativo entre os custos dos concretos empacotados e concretos convencionais. Onde é possível observar a diminuição de 35% do valor do concreto empacotado em comparação ao convencional.

Figura 4: Custo do concreto empacotado x Custo do concreto usinado.



Fonte: Os autores (2024).

A partir dos valores obtidos, tornou-se possível realizar um estudo de custo por metro cúbico de concreto em um empreendimento pertencente a uma construtora que atua no mercado imobiliário de Belém do Pará. Dentre as características do empreendimento importantes para o estudo, pode-se destacar: pavimento térreo, três pavimentos de garagem, pavimento de lazer, dezoito pavimentos tipo e pavimento da cobertura.

Portanto, para a realização do comparativo de custo, levantou-se o volume de concreto de todo o edifício, totalizando 4.464,26 m³; sendo, 698,44 m³ referente à fundação (20 MPa) e 3.769,82 m³ referente à superestrutura (30 MPa). Posteriormente ao levantamento, elaborou-se os orçamentos considerando somente o custo do material (tabelas 12 e 13), no intuito de comparar a possível economia no custo da obra.

Tabela 12: Orçamento do concreto empacotado.

Descrição	Quant. (m³)	Custo unitário/m³	Custo total
Fundação	698,44	R$ 254,81	R$ 177.969,50
Superestrutura	3769,82	R$ 283,48	R$ 1.068.668,57
Total			**R$ 1.246.638,07**

Fonte: Autores.

Tabela 13: Orçamento do concreto usinado.

Descrição	Quant. (m³)	Custo unitário/m³	Custo total
Fundação	698,44	R$ 401,42	R$ 280.367,78
Superestrutura	3769,82	R$ 426,50	R$ 1.607.828,23
Total			**R$ 1.888.196,01**

Fonte: SINAPI (2020).

Tendo em vista os orçamentos apresentados acima, observa-se que, com o estudo do empacotamento granular, obtém-se uma economia de aproximadamente 34% sobre o custo do concreto, correspondendo a um valor de R$ 641.557,94 no orçamento executivo da obra.

Para desenvolver o estudo de caso, foram utilizados os valores de insumo da base de dados, pois é um parâmetro de base de dados nacional, no qual abrange todos os estados. No entanto, como método de análise de preços no mercado local, realizou-se também a cotação de valores de insumos de concreto na região em estudo. Sendo assim, na tabela 14, apresenta-se os valores comparativos entre o concreto empacotado e o concreto usinado usualmente comercializado na região metropolitana de Belém do Pará, assim como, as devidas economias nas classes de concreto.

Tabela 14: Custo do concreto empacotado x Custo do concreto usinado comercializado.

Classe	Concreto empacotado (custo/m³)	Concreto comercializado (custo/m³)	Economia (%)
C20	254,81	300,00	15,06%
C30	283,48	315,00	10,01%
C40	309,14	356,00	13,16%

Fonte: Autores (2024).

CONCLUSÃO

O estudo apresentou resultados relevantes sobre a aplicação da técnica de empacotamento de agregados em misturas de concretos. Dado que, ao comparar-se os valores do concreto empacotado e o concreto usinado da base de dados, observou-se uma economia média aproximada de 35% sobre o custo de concreto. Desse modo, gerando economia para as empresas do ramo construtivo, assim como, para as usinas de concreto.

Além disso, ao comparar-se os valores do concreto empacotado e o concreto comercializado na região metropolitana de Belém do Pará, observou-se uma economia média de aproximadamente 13% sobre o custo do concreto. Portanto, mesmo no comércio local, a técnica de empacotamento mostrou-se vantajosa. Desse modo, permitindo competitividade no mercado e maiores valores de margem de lucro.

Por fim, o emprego da técnica de empacotamento gera ganhos ambientais inerentes nesse processo, pois, com a redução dos vazios no esqueleto granular, tem-se a diminuição do consumo do cimento. Haja vista que, durante a produção desse aglomerante hidráulico, ocorre a liberação de altos níveis de gases do efeito estufa. Neste contexto, a utilização de conceitos de empacotamento, baseando-se na correta seleção de materiais, pode provocar aumento no rendimento dos traços dosados, além da manutenção ou acréscimo de resistência para um consumo de cimento inferior, o que torna o concreto mais sustentável e econômico.

REFERÊNCIAS

[1] FORD, G. S.; SPIWAK, L. J. **The economic impact of the natural aggregates industry: a national, state, and county analysis**. Industry Scorecard: Aggregates. 2017. Disponível em: https://www.nssga.org/. Acesso em 20 abril 2024.

[2] CEMBUREAU. **Activity report 2015**. Brussels: Cembureau, 2015.

[3] SNIC. **Sindicato Nacional da Indústria de Cimentos**. Vendas de cimento por regiões e estados. 2014. Disponível em: https://snic.org.br/. Acesso em 20 abril 2024.

[4] NETO, C. D. Preços em queda. **Construção e Mercado**, v.69, n.177, p.24-28, mar. 2016.

[5] SNIC. **Sindicato Nacional da Indústria de Cimentos**. Vendas de cimento encerram 2018 em queda de 1,2%. 2018. Disponível em: https://snic.org.br/. Acesso em 20 abril 2024.

[6] REBMANN, M. S. **Robustez de concretos com baixo consumo de cimento Portland: desvios no proporcionamento e variabilidade granulométrica e morfológica dos agregados**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

[7] CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, v. 55, n. 333, p. 18–32, jan. 2009.

[8] CAMPOS, H. F.; MARQUES FILHO, J.; KLEIN, N. S. Concretos sustentáveis otimizados por modelos de empacotamento de partículas: revisão bibliográfica. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 58., Belo Horizonte. **Anais**. Belo Horizonte: IBRACON, p. 1 - 13.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16973**: Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821**: Preparação de concreto em laboratório - Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

[18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

[19] CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Caderno técnico de preços de insumos**. SINAPI: Belém, dez 2020.