

RESISTÊNCIA E DURABILIDADE DE CONCRETOS DOSADOS E PRODUZIDOS POR OPERÁRIOS DE OBRA: ALERTAS IMPORTANTES

Medeiros, Marcelo Henrique Farias¹; Cambri Júnior, Antônio Carlos²; Gobbi, Andressa³

¹ Doutor, Universidade Federal do Paraná, medeiros.ufpr@gmail.com

² Mestrando, Universidade Federal do Paraná, engcambri@hotmail.com

³ Doutora, Universidade Federal do Paraná, andressagobbi@ufpr.br

Resumo: O concreto elaborado em edificações de pequeno porte muitas vezes é dosado e produzido em condições nas quais os operários de obra são os tomadores de decisão sobre a proporção de mistura do concreto. Este trabalho teve o foco de gerar um conjunto de testes em uma amostra composta por 20 traços executados por 10 profissionais que atuam em pequenas construções. Os parâmetros de avaliação destes concretos foram a relação água/cimento, o consumo de cimento, a resistência à compressão e a resistividade elétrica. Os resultados indicaram que todos os concretos elaborados não atenderam a classe de agressividade II, área urbana, que seria o necessário para uma edificação construída na região metropolitana de Curitiba. A conclusão é que o concreto precisa ser acompanhado por profissionais com formação e que entendam a importância da correta dosagem e durabilidade do concreto.

Palavras-chave: Resistividade elétrica, Resistência à compressão, Concreto, Durabilidade.

Abstract: Concrete produced in small buildings is often mixed and proportioned under conditions where construction workers themselves decide the mixture ratios. This study aimed to generate a set of tests on a sample composed of 20 mix designs executed by 10 professionals working in small constructions. The evaluated parameters of these concretes were the water/cement ratio, cement consumption, compressive strength, and electrical resistivity. The results indicated that none of the produced concretes met the requirements of exposure class II, urban area, which would be necessary for a building constructed in the metropolitan region of Curitiba. The conclusion is that concrete must be developed by trained professionals who understand the importance of proper mix design and concrete durability.

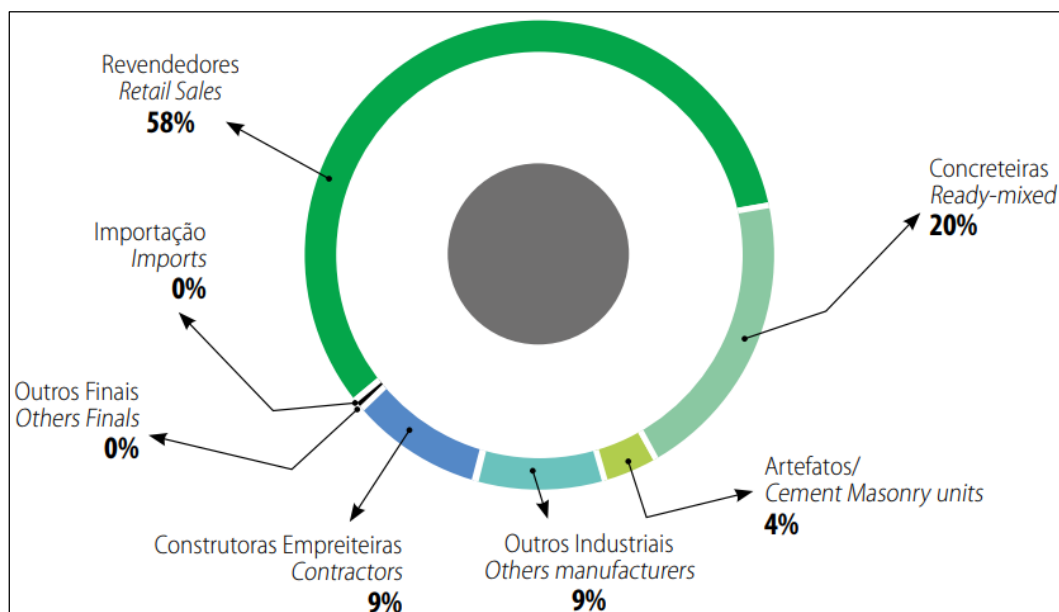
Keywords: Electrical resistivity, Compressive strength, Concrete, Durability.

1. Introdução

A Figura 1 evidencia, conforme o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, o perfil da distribuição do cimento consumido no país em 2021 [1]. Deve-se destacar na Figura 1 que 58% do cimento no Brasil é comercializado por meio de revendedores (venda ensacada no varejo), sendo, em boa parte, utilizado para a produção de concretos e argamassas em pequenas obras e canteiros. Desse modo, é possível que uma parcela considerável do concreto usado para as construções novas, principalmente as de pequeno porte, seja dosada e produzida em processo de autoconstrução, em que o pedreiro é o profissional que define, proporciona e executa a mistura do concreto da estrutura.

Ainda que este dado não seja prova cabível que a autoconstrução ocorre em percentual tão elevado, é fato que existem no Brasil muitos casos de edificações construídas sem um engenheiro responsável e a obra sendo conduzida integralmente pelo pedreiro, que define a proporção de mistura do concreto.

Figura 1: Perfil da distribuição do cimento consumido no Brasil em 2021



Fonte: SNIC (2022) [1].

Este trabalho foca em entender a qualidade deste concreto, produzido por profissionais que não foram treinados nos conceitos de dosagem do concreto, mas que decidem a proporção de mistura em construções de pequeno porte. Para isso, foi realizada uma amostragem de profissionais que decidem e executam a produção de concreto em pequenas obras, os quais foram convidados a desenvolver seus concretos, que foram submetidos a alguns testes, de modo a elaborar um panorama geral de qualidade mecânica e de durabilidade.

2. Programa experimental

No planejamento experimental, foram selecionados 10 trabalhadores autônomos da construção civil que atuam como empreiteiros na execução de edificações, normalmente residências unifamiliares. Aos profissionais foi solicitado que elaborassem dois traços de concreto, sendo um para a execução de uma edificação térrea (chamado Traço 1) e outro para uma edificação com dois ou mais pavimentos (denominado Traço 2).

Deve-se destacar que no ato da execução das misturas, cada porção de cimento, areia, brita e água foi pesada e registrada por um dos autores desta pesquisa.

Neste trabalho foi determinada a consistência do concreto produzido, conforme o ensaio de abatimento do tronco de cone, definido na NBR 16889 [2] e, em seguida, determinou-se a massa específica do concreto fresco, de acordo com a NBR 9833 [3]. Ato contínuo, houve a moldagem de 3 corpos de prova cilíndricos de 100 x 200 mm, em conformidade com a NBR 5738 [4]. Após a desforma, ocorrida após 24 horas da moldagem, os corpos de prova passaram 28 dias em cura úmida, com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa superior a 95%.

No experimento, foi utilizado o cimento CP II F-40 com massa específica de 3,05 g/cm³. Por outro lado, os agregados utilizados foram uma areia natural de leito de rio com massa específica de 2,63 kg/dm³, massa unitária de 1,59 kg/dm³ e teor de material pulverulento de 2,6%. Por sua vez, o agregado graúdo usado foi uma brita 1 (DMC = 19 mm), de calcário, com massa específica de 2,70 kg/dm³, massa unitária de 1,48 kg/dm³ e índice de forma de 1,78.

2.1 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio para obter a resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739 [5] e o tratamento do topo dos corpos de prova foi por retificação com coroa diamantada.

Executou-se o ensaio com uma prensa da marca Instron, servocontrolada, imprimindo a velocidade de carregamento de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s. A resistência à compressão é a razão entre a força exercida para romper a amostra e a área de topo do corpo de prova, de acordo com a NBR 5739 [5].

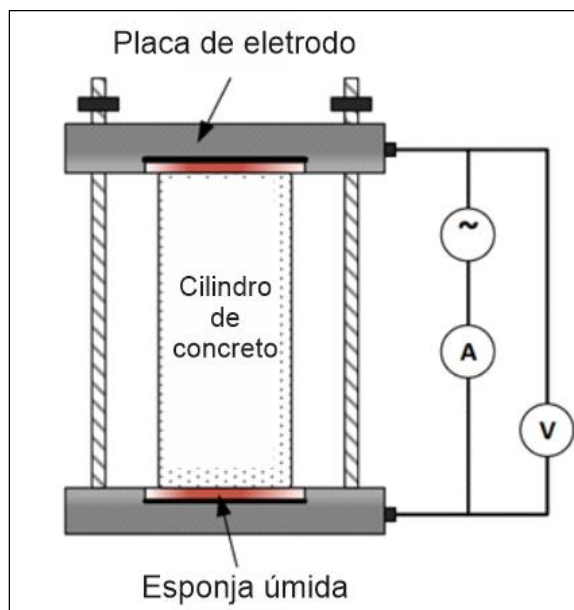
A resistência à compressão da amostra de cada concreto ensaiado foi considerada como a média das 3 resistências obtidas.

2.2 Resistividade elétrica volumétrica

Este ensaio foi conduzido utilizando a configuração de ensaio indicada na norma ASTM C1876 [6]. Neste procedimento um conjunto de eletrodos é colocado nas extremidades de um corpo de prova cilíndrico e uma diferença de potencial é aplicada, produzindo um fluxo de corrente.

A corrente elétrica é induzida utilizando uma fonte de corrente alternada, e, então, mede-se a corrente elétrica e a tensão. Posteriormente aplica-se a lei de Ohm, determinando a resistência do sistema. A Figura 2 mostra a configuração do ensaio de acordo com Spragg *et al.* [7].

Figura 2: Configuração do ensaio de medição da resistividade elétrica volumétrica do concreto



Fonte: Spragg *et al.* (2011) [7]

Com os valores de resistência elétrica dos corpos de prova, calcula-se a resistividade elétrica usando a Equação 1.

$$\rho = R \times \frac{S}{L} \quad (1)$$

Onde: ρ é a resistividade elétrica, em $\Omega \cdot m$; R é resistência elétrica, em Ω ; S é a área da seção transversal do corpo de prova, em m^2 ; L é o comprimento do corpo de prova, em m .

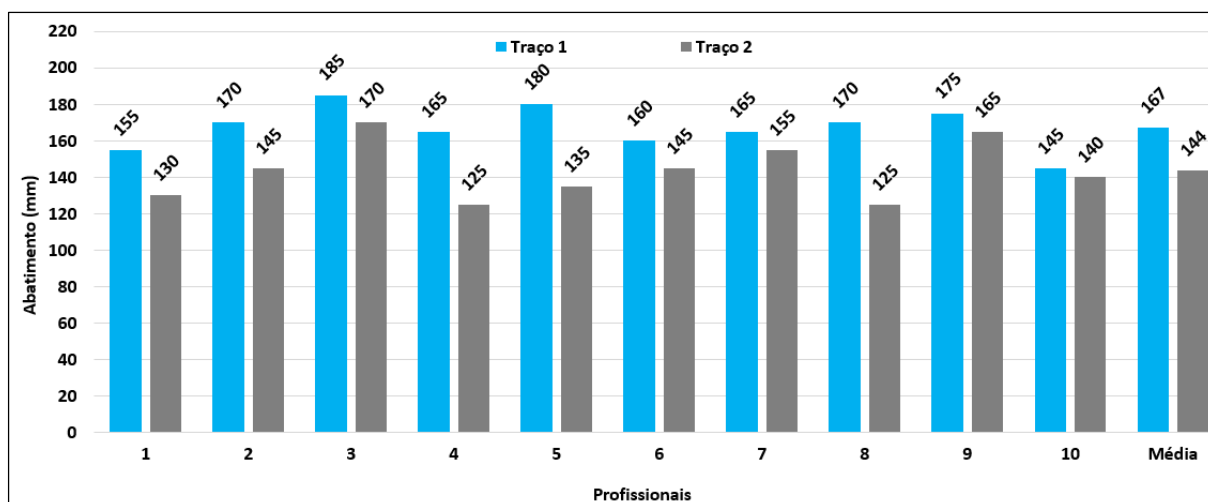
3. Resultados e discussão

Considerou-se que cada traço de concreto é parte dos resultados, pois estes não foram definidos como uma estratégia para investigar o efeito de alguma variação no concreto, como ocorre nos estudos clássicos de materiais de construção. Então, a interação com cada profissional que elaborou seus traços é um resultado do estudo exploratório desta pesquisa. Desse modo, a Tabela 1 mostra as proporções de mistura utilizadas por cada um dos 10 profissionais que fizeram parte do estudo. Além disso, a Figura 3 mostra os valores de abatimento do tronco de cone de todos os 20 concretos deste trabalho.

Tabela 1: Traços dos concretos elaborados pelos profissionais da construção civil

Prof.	Traço	Cimento (kg/m³)	Areia (kg/m³)	Brita 1 (kg/m³)	Água (kg/m³)	Traço unitário (c:am:ag:a/c*)
1	1	213,35	836,91	1141,57	167,65	1:3,92:5,35:0,97
	2	294,85	915,34	982,61	170,65	1:3,10:3,33:0,75
2	1	229,96	918,60	982,10	170,45	1:3,99:4,27:0,87
	2	273,43	895,33	934,25	174,23	1:3,27:3,42:0,77
3	1	229,25	901,72	983,35	196,08	1:3,93:4,29:0,93
	2	268,20	879,35	962,11	182,17	1:3,28:3,59:0,76
4	1	254,82	898,41	977,78	187,34	1:3,53:3,84:0,75
	2	320,71	862,55	939,14	189,32	1:2,69:2,93:0,60
5	1	245,83	818,26	1040,31	216,61	1:3,33:4,23:0,92
	2	301,48	863,61	943,33	207,28	1:2,86:3,13:0,73
6	1	202,96	922,23	1016,56	172,62	1:4,54:5,01:0,90
	2	271,17	872,17	949,23	207,22	1:3,22:3,50:0,81
7	1	231,06	901,47	992,33	178,90	1:3,90:4,29:0,82
	2	278,31	831,19	1021,00	194,48	1:2,99:3,67:0,73
8	1	280,01	865,63	949,92	196,27	1:3,09:3,39:0,70
	2	303,54	870,59	946,06	192,86	1:2,87:3,12:0,65
9	1	256,46	804,23	1017,63	218,82	1:3,14:3,97:0,89
	2	268,17	901,73	952,84	187,66	1:3,36:3,55:0,75
10	1	275,16	881,50	958,84	209,48	1:3,20:3,48:0,80
	2	270,92	888,37	923,97	196,64	1:3,28:3,41:0,77

Figura 3: Abatimento do tronco de cone no ensaio de acordo com a NBR 16889 (ABNT, 2020) para os traços elaborados pelos profissionais

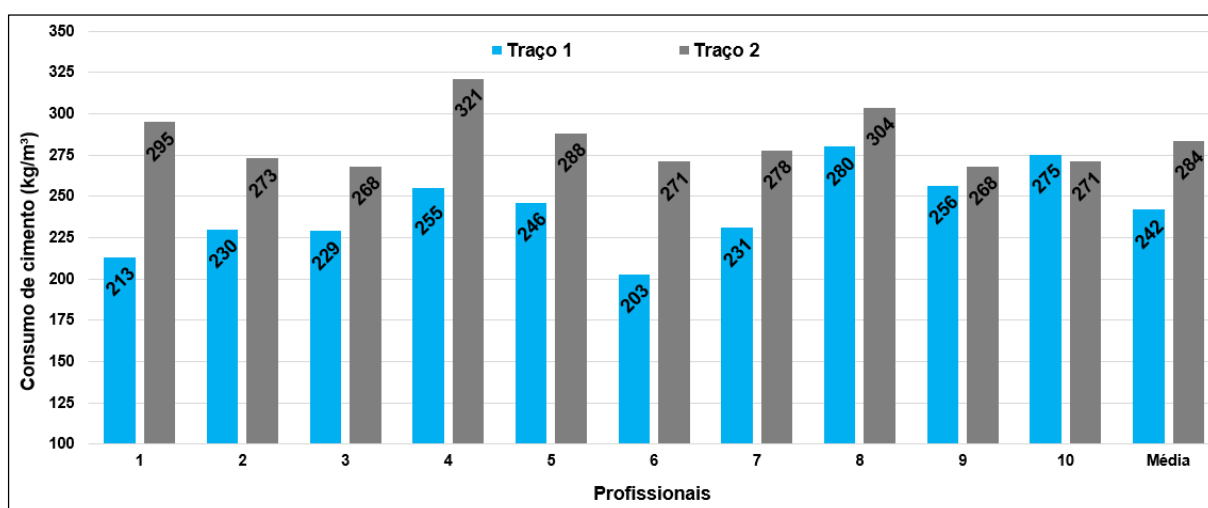


3.1 Consumo de cimento

A Figura 4 mostra os valores do consumo de cimento do concreto, em kg/m^3 , comparando os dois traços de um mesmo profissional, e comparando os traços dos 10 profissionais, além das barras de valores médios.

Percebe-se a tendência de um maior consumo de cimento do segundo traço, o que evidencia que os profissionais têm a percepção que o concreto com mais cimento apresentará maior resistência mecânica, já que foi solicitado que o traço 2 fosse desenvolvido para a execução de uma edificação de 2 ou mais pavimentos. Apenas um dos 10 profissionais apresentou maior consumo de cimento do primeiro traço em relação ao segundo, embora com pequena diferença (275 e 271 kg/m^3 , respectivamente).

Figura 4: Consumo de cimento por metro cúbico dos traços elaborados pelos profissionais



A NBR 6118 [8], em sua tabela 7.1 relaciona a classe de agressividade ao qual estará exposta uma estrutura de concreto, a classe e tipo do concreto e a relação água/cimento. Destaca-se que, analisando o consumo de cimento, no caso do traço 1 apenas os profissionais 8 e 10 desenvolveram concretos que atendem a NBR 12655 [9]. O profissional 8 apresentou um concreto no traço 1 com consumo de cimento de 280 kg/m^3 , que atende a classe de agressividade II ($\geq 280 \text{ kg/m}^3$), enquanto o profissional 10 apresentou no traço 1 o consumo de cimento de 275 kg/m^3 , que atende a classe de agressividade I ($\geq 260 \text{ kg/m}^3$).

No caso do traço 2, todos os 10 profissionais produziram concreto com consumo de cimento acima de 260 kg/m^3 , sendo que os profissionais 1, 5 e 8 dosaram o concreto com mais de 280 kg/m^3 , classificando esses traços como adequados para a classe de agressividade II. No caso do profissional 4, o traço 2 com consumo de cimento de 321 kg/m^3 pode atender a classe de agressividade III. Nenhum dos traços desenvolvidos pelos profissionais se encaixa na classe de agressividade IV.

Deve-se destacar que esta avaliação foi feita apenas considerando o parâmetro consumo de cimento, necessitando da avaliação da relação água/cimento e da resistência à compressão para completar a classificação usando a Tabela 2.

Também é importante destacar que todos os profissionais atuam em obras na região metropolitana de Curitiba, de modo que seus concretos deveriam atender a classe de agressividade II.

Tabela 2: Correspondência entre qualidade do concreto e classe de agressividade para concreto armado, conforme a NBR 6118 [8] e a NBR 12655 [9]

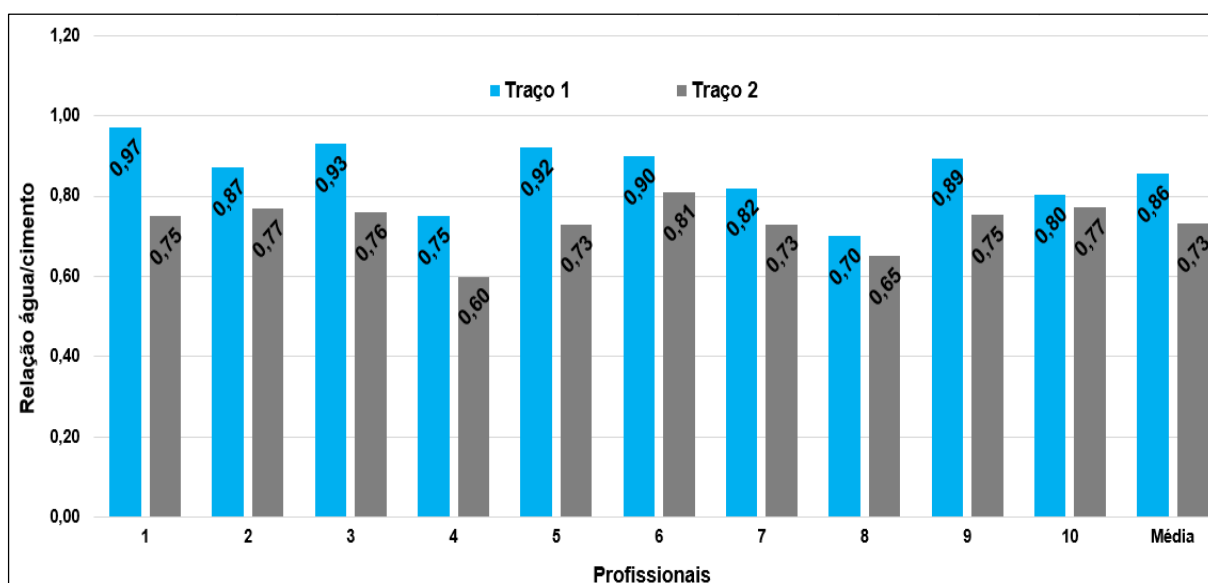
Concreto	Classe de agressividade			
	I	II	III	IV
Relação a/c (massa)	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classe do concreto	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
kg cimento / m ³ concreto	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2023) [8] e NBR 12655 (ABNT, 2022) [9], adaptada pelos autores.

3.2 Relação a/c

A Figura 5 mostra os valores da relação água/cimento dos concretos deste estudo. Deve-se destacar que os valores de relação a/c são elevados, alguns próximos de 1. A justificativa comum dos profissionais para o volume de água no concreto é que o acabamento das peças fica melhor, evitando ninhos de concretagem e facilitando a aplicação e adensamento (6 profissionais citaram que basta bater com o martelo nas formas para o perfeito adensamento dos concretos que eles produzem).

Figura 5: Relação água/cimento dos concretos elaborados pelos profissionais



Analisando-se a relação água/cimento baseada na Tabela 2, tem-se que apenas o traço 2 dos profissionais 8 (com a/c 0,65) e 4 (com a/c 0,60) atenderiam as classes de agressividade I e II, respectivamente. Como ambos os traços também atenderam ao requisito consumo de cimento (classe de agressividade II para o traço do profissional 8 e classe de agressividade III para o traço do profissional 4), pode-se considerar que, até aqui, os dois traços podem ser utilizados para estruturas inseridas em ambientes de classe de agressividade I e o traço do profissional 4 também pode ser utilizado para a classe de agressividade II.

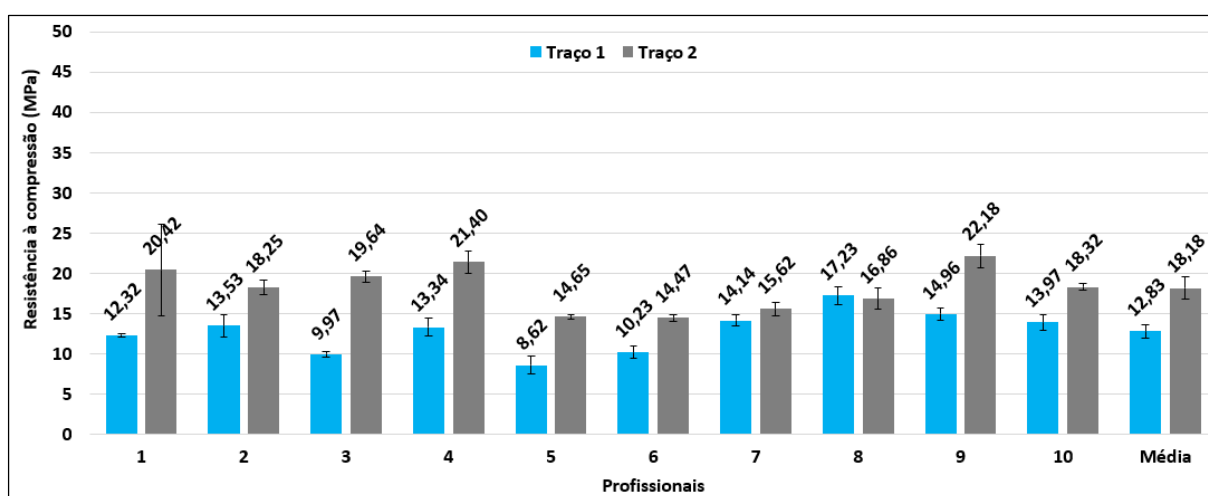
3.3 Resistência à compressão

A Figura 6 mostra a média dos resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias, incluindo a média e o desvio padrão. Excetuando-se o traço 2 do profissional 1 (desvio padrão de 5,70 MPa), as demais dosagens possuem desvio padrão baixos, com média 0,83 MPa para o traço 1 e 1,34 MPa para o traço 2.

Alguns dos traços elaborados pelos profissionais apresentaram resistência à compressão muito abaixo do esperado, pois, partindo-se do princípio de que a solicitação foi para a produção de traços para estruturas de edificações, considera-se como resistência mínima à compressão a do concreto estrutural, que é 20 MPa, de acordo com o que preconiza a NBR 8953 [10]. Essa norma classifica os concretos com resistência à compressão menor que 20 MPa como não estruturais.

Dos 20 traços produzidos, apenas 3 tem resistência à compressão acima de 20 MPa, mais especificamente o traço 2 dos profissionais 1, 4 e 9, com resultados de 20,42 MPa, 21,40 MPa e 22,18 MPa, respectivamente. E considerando o efeito de fck, adotando o menor valor possível de $S_d = 2$, $f_{ck} = f_{c28d} - 1,65 \times 2$, o traço 2 dos profissionais 1, 4 e 9 apresentam f_{ck} de 17,12 MPa, 18,1 MPa e 18,88. Portanto, nenhum dos concretos da Figura 6 pode ser considerado como estrutural.

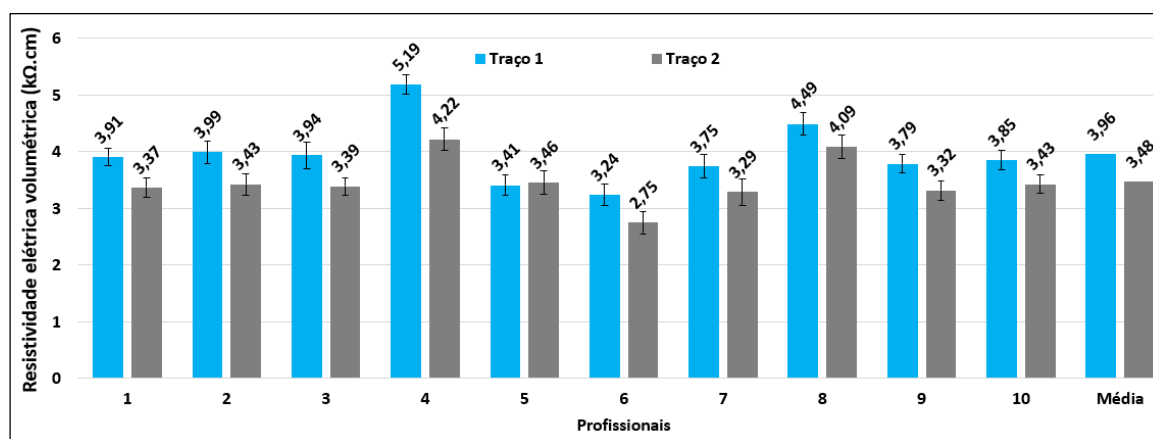
Figura 6: Resistência à compressão média dos traços elaborados pelos profissionais, conforme a NBR 5739 [5]



3.4 Sobre a resistividade elétrica volumétrica

A Figura 7 mostra os valores da resistividade elétrica volumétrica dos corpos de prova, em $k\Omega \cdot cm$, comparando os dois traços de um mesmo profissional, com as respectivas médias e desvio padrão.

Figura 7: Resistividade elétrica volumétrica dos corpos de prova dos traços elaborados pelos profissionais



Os resultados dos 20 traços dos profissionais, baseados no Boletim 192 do CEB [11], indicam que, 19 traços com resistividade abaixo de $5 k\Omega \cdot cm$ (muito alta probabilidade de corrosão de armaduras) e um traço com resistividade volumétrica de $5,19 k\Omega \cdot cm$ (muito alta probabilidade de corrosão de armaduras).

3.5 Avaliação geral

As Tabelas 3 e 4 mostram uma avaliação global dos 20 traços desenvolvidos pelos profissionais, a primeira apresenta o panorama para o traço 1 (para a execução de uma edificação térrea) e a segunda mostra a avaliação para o traço 2 (para a execução de uma edificação com dois ou mais pavimentos).

A avaliação executada nestas tabelas foi para a classe de agressividade I, que é o primeiro nível, de modo que abaixo disso o concreto não pode ser considerado estrutural.

A Tabela 3 indica que nenhum dos 10 concretos do traço 1 atende aos parâmetros da NBR 6118 [8] e de resistividade elétrica no Boletim 192 do CEB (1989) [11]. Fazendo o mesmo tipo de avaliação para a Tabela 4, sobre o traço 2 (para a execução de uma edificação com dois ou mais pavimentos), verifica-se que apenas o traço 4 atende os requisitos na NBR 6118 [8], sendo adequado para a classe de agressividade I, zonas rurais.

Porém, não se pode deixar de destacar que os profissionais que fizeram parte deste estudo são atuantes na região metropolitana de Curitiba, portanto, atuantes em pequenas construções que estão inseridas na classe de agressividade II, regiões urbanas. Fazendo a avaliação para este ambiente, nenhum dos 20 concretos executados atende aos parâmetros de qualidade.

Tabela 3: Avaliação global dos 10 traços 1 dos profissionais (para a execução de uma edificação térrea)

Parâmetro	Profissional									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Relação a/c (massa) NBR 6118 (ABNT, 2023)										
Classe do concreto NBR 6118 (ABNT, 2023)										
kg cimento / m³ concreto NBR 12655 (ABNT, 2022)										
Resistividade elétrica Boletim 192 do CEB (1989)										

Tabela 4: Avaliação global dos 10 traços 2 dos profissionais (para a execução de uma edificação com dois ou mais pavimentos)

Parâmetro	Profissional									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Relação a/c (massa) NBR 6118 (ABNT, 2023)										
Classe do concreto NBR 6118 (ABNT, 2023)										
kg cimento / m³ concreto NBR 12655 (ABNT, 2022)										
Resistividade elétrica Boletim 192 do CEB (1989)										

Para finalizar esta avaliação, deve-se destacar que em termos de durabilidade do concreto, nenhum deles se mostrou adequado para produzir estruturas duráveis.

4. Conclusões

Este trabalho permitiu elaborar as conclusões a seguir:

- Os concretos dosados e elaborados por profissionais sem treinamento e formação específica têm alta probabilidade de resultar em estruturas de concreto que não atendem a NBR 6118 (ABNT, 2023).
- Em termos de durabilidade, os concretos produzidos são classificados como de alta ou muito probabilidade de corrosão de armaduras. Ou seja, não são concretos que oferecem proteção ao aço nas estruturas de concreto armado.
- É preciso destacar que os 20 concretos que fizeram parte deste trabalho representam uma pequena amostra da amplitude de proporções de mistura usadas na região metropolitana de Curitiba. Os resultados deste trabalho servem de alerta para o fato que os concretos produzidos por profissionais sem formação específica em dosagem de concreto podem gerar problemas sérios nas edificações, não atendendo as normas, sendo temerário desenvolver obras de pequeno porte sem profissionais instruídos tecnicamente e com formação com atribuição específica.

5. Agradecimentos

Os autores expressam a sua gratidão às agências brasileiras CNPq, CAPES e Fundação Araucária pela bolsa e apoio financeiro, à Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), ao Centro de Estudos de Engenharia Civil (CESEC), ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) e ao grupo de pesquisa de Patologia e Recuperação das Construções (PRC).

Referências

- [1] SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Relatório Anual 2021. Rio de Janeiro: SNIC, 2022.
- [2] NBR 16889 (2020) Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [3] NBR 9833 (2008) Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [4] NBR 5738 (2015) Moldagem e cura dos corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.

- [5] NBR 5739 (2018) Concreto — Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [6] ASTM C1876 (2019) Standard test method for bulk electrical resistivity or bulk conductivity of concrete. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM, Pennsylvania, USA.
- [7] SPRAGG, R. P.; CASTRO, J.; NANTUNG, T.; PAREDES, M.; WEISS, J. (2011) Variability analysis of the bulk resistivity measured using concrete cylinders. Publication FHWA/IN/JTRP-2011/21. West Lafayette: Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University.
- [8] NBR 6118 (2023) Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [9] NBR 12655 (2022) Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [10] NBR 8953 (2015) Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, Rio de Janeiro, Brasil.
- [11] COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON (1989). Bulletin D'information 192: Diagnosis and assessment of concrete structures: state-of-art report. Switzerland: FIB – International Federation for Structural Concrete.