

Evento: Salão do Conhecimento, XXX Seminário de Iniciação Científica

MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA EM ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS¹

MATHEMATICAL MODELING APPLIED IN NON-DESTRUCTIVE TESTS

**Luisa Rödler Owegoor², Flavia Izabel Bandeira Krug³, Lucas Krug⁴, Airam Sausen⁵,
Mauricio de Campos⁶, Paulo Sausen⁷**

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido no GAIC, na Unijuí;

² Bolsista de Iniciação Científica CNPq e estudante do Curso Engenharia Civil;

³ Engenheira Civil e mestranda em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUÍ

⁴ Professor do Curso de Engenharia Civil, e doutorando em Modelagem Matemática e Computacional UNIJUÍ

⁵ Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUÍ

⁶ Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUÍ

⁷ Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional, UNIJUÍ

INTRODUÇÃO

Os testes de compressão axial de testemunhos extraídos é um dos métodos mais exatos para determinar a resistência do concreto, entretanto, cada vez mais percebe-se o quanto este método é trabalhoso, caro, além de ser inaplicável em algumas estruturas. Por isso, busca-se outros meios de determinar esta característica, através de ensaios que sejam mais simples, baratos e mais amplamente aplicáveis, conhecidos como ENDS (Ensaio Não Destrutivos). Devido as suas vantagens, esses ensaios prometem ser promissores nas áreas da engenharia civil, no entanto, para isso, ainda é preciso desenvolver pesquisas que possibilitem a utilização dos mesmos de forma precisa e confiável.

A partir disso, este resumo tem por finalidade relatar as etapas seguidas para a execução de elementos de concreto juntamente com uma metodologia de aplicação de ensaios utilizando diferentes ENDS (ensaio de esclerometria e ensaio de penetração de pinos) e ensaio de extração de testemunhos para obtenção da resistência à compressão. Os dados coletados a partir destes ensaios servirão de base para a elaboração de um modelo matemático de determinação da resistência do concreto.

METODOLOGIA



Para a execução dos elementos de concreto, foram definidas inicialmente as faixas de resistência que seriam estudadas bem como as dimensões de cada elemento, optando-se por blocos medindo 25cmx25cmx40cm nas faixas de resistência de 15MPa, 25MPa, 35MPa e 45MPa. Para cada faixa de resistência moldou-se 3 blocos de concreto, os quais foram ensaiados nas idades de cura de 14 dias, 28 dias e 56 dias.

Para ser possível moldar os blocos nas resistências determinadas, a primeira coisa a ser feita foi a caracterização dos materiais utilizados (cimento, agregado graúdo e agregado miúdo). O cimento utilizado neste estudo foi o CP-II-F 32, a fim de caracterizá-lo foi efetuado ensaio em laboratório para obtenção da sua massa específica (Figura 1). Para isto utilizou-se do frasco volumétrico de Le Chatelier, seguindo os procedimentos da normativa NBR 16605 (ABNT, 2017). Como agregado graúdo usou-se a brita 1, entre os ensaios realizados para a sua caracterização estão o de composição granulométrica conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003a), massa específica e absorção NBR NM 53 (ABNT, 2003) e massa unitária solta e massa unitária compactada - NBR NM 45 (ABNT, 2006). Já o agregado miúdo adotado na composição do concreto foi areia natural, sendo caracterizado a partir da determinação da sua composição granulométrica (NBR NM 248 (ABNT, 2003)), massa específica (NBR NM 52 (ABNT, 2003) e massa unitária solta - NBR NM 45 (ABNT, 2006)).

Após os ensaios de caracterização, foi feito o cálculo de dosagem e a moldagem dos quatro traços de concreto, utilizando-se para isso de um misturador mecânico (betoneira). Os materiais foram sendo adicionados na betoneira, sendo a quantidade de água colocada aos poucos. A quantidade de água adicionada foi determinada a partir do ensaio de consistência, chamado Slump Test, feito conforme a normativa NBR NM 67 (ABNT, 1998). Para todos os traços estudados adotou-se um abatimento de 10 cm \pm 1. Na sequência os blocos foram moldados em formas de compensado plastificado, adensados com o uso de vibrador mecânico e deixados em cura ao ar até o tempo de realização dos ENDS.

Passados os dias de cura, iniciaram-se os ENDS, sendo que o primeiro ensaio a ser feito foi o de esclerometria, que foi realizado segundo a norma NBR 7584 (ABNT, 2012) na região do topo do bloco e em suas duas laterais maiores, contabilizando um total de 16 pontos em cada face, resultando em um valor médio de índice esclerométrico para cada região. Após este fez-se o ensaio de penetração de pinos (baseando-se na normativa ASTM C 803/C 803M (ASTM, 2003)), com algumas adaptações, penetrando no total 6 pinos por bloco de concreto,



2 em cada lateral maior e um em cada lateral menor, medindo-se de cada pino o seu comprimento exposto em mm. Posteriormente foi realizado o teste de compressão axial, sendo extraídos de cada bloco 6 testemunhos (segundo normativa NBR 7680-1 (ABNT, 2015b)), para serem submetidos aos testes de compressão axial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de finalizados os ensaios dos blocos de concreto, obteve-se os dados coletados para cada ensaio proposto. No ensaio de esclerometria foram encontrados para cada bloco três valores de índices esclerométricos médios, referentes às três regiões ensaiadas, sendo estes apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de esclerometria

Região de ensaio	Traço de 15MPa			Traço de 25MPa			Traço de 35MPa			Traço de 45MPa		
	14	28	56	14	28	56	14	28	56	14	28	56
1	29,62	32,32	34,51	31,85	34,29	37,37	35,04	39,09	38,89	38,73	40,69	42,80
2	27,68	32,62	34,35	30,31	35,15	36,75	34,79	38,08	38,64	38,09	39,62	42,72
3	28,21	33,32	34,90	31,03	34,82	37,25	35,04	38,55	39,70	38,48	40,07	43,27

Fonte: Adaptado de Bandeira (2022)

Para o ensaio de penetração de pinos foram obtidos 6 valores para cada bloco de concreto ensaiado, referentes ao comprimento exposto (em mm) de cada pino penetrado. Os resultados deste ensaio são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de penetração de pinos

Pinos	Traço de 15MPa			Traço de 25MPa			Traço de 35MPa			Traço de 45MPa		
	14	28	56	14	28	56	14	28	56	14	28	56
1	32,6	30,65	28,40	32,88	30,15	26,53	27,63	27,58	27,20	30,13	27,35	26,50
2	32,4	29,98	29,75	32,73	30,48	25,03	30,18	26,60	25,78	24,65	25,78	24,23
3	36,1	31,8	28,18	29,23	29,35	25,18	26,35	27,58	26,58	26,70	26,03	25,00
4	35,43	30,78	28,30	30,98	27,15	26,40	24,68	24,68	23,93	27,18	24,10	25,83
5	34,95	28,6	26,78	34,90	28,90	27,35	27,13	23,05	25,53	27,83	26,10	25,40
6	36,45	31,83	28,35	31,08	32,65	27,48	28,03	27,75	23,03	24,48	23,25	27,05

Fonte: Adaptado de Bandeira (2022)

Por fim, obteve-se os resultados de compressão axial dos 6 testemunhos extraídos de cada bloco de concreto, os quais podem ser visualizados na Tabela 3.



Tabela 3 – Resultados do ensaio de penetração de pinos

Testemunho	Traço de 15MPa			Traço de 25MPa			Traço de 35MPa			Traço de 45MPa		
	14	28	56	14	28	56	14	28	56	14	28	56
1	23,22	29,72	29,07	27,93	34,37	44,47	37,80	43,93	52,66	45,09	44,43	49,14
2	18,86	27,44	28,85	24,78	37,38	45,33	35,26	44,75	48,62	42,52	49,83	54,39
3	25,65	27,42	31,16	23,61	35,51	39,48	32,33	42,01	47,09	46,56	52,91	53,07
4	24,34	21,22	30,27	31,34	33,22	43,42	31,69	48,16	42,93	42,95	51,58	54,52
5	23,45	22,74	32,87	24,37	32,22	43,22	35,96	45,85	43,21	44,49	43,99	52,77
6	25,86	23,26	32,28	29,47	28,71	41,91	30,68	40,91	45,33	44,26	48,50	51,56

Fonte: Adaptado de Bandeira (2022)

A partir desses dados coletados, será feita uma análise dos mesmos e pretende-se formular e validar um modelo matemático, que correlacione a resistência à compressão do concreto com os ENDS de esclerometria e penetração de pinos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De um lado, uma das propriedades mais importantes do concreto, de outro, uma tecnologia que é capaz de facilitar e deixar mais acessíveis os métodos de obtenção da resistência à compressão do concreto. A junção dos dois se torna algo muito proveitoso na Engenharia Civil, tendo em vista que por não acarretar em danos significativos aos materiais, a utilização de ENDS propicia economia na investigação das estruturas.

No entanto, para que uma relação entre eles seja estabelecida se torna necessário um conjunto de dados que possibilite a realização de uma correlação. Neste estudo, obteve-se um conjunto de dados com resultados dos ensaios não destrutivos de esclerometria e penetração de pinos no concreto, juntamente com a resistência à compressão dos elementos analisados. Estes dados poderão então ser utilizados para o desenvolvimento de um modelo matemático de determinação da resistência do concreto a partir de ENDS.

Palavras-chave: Ensaios Não Destrutivos. Modelagem Matemática. Resistência à Compressão. Engenharia Civil. Materiais de Construção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- NBR 7680-1 Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise e testemunhos de estruturas de concreto - Parte 1: Resistência à compressão axial. [S.l.], 2015.
- NBR NM 67 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. [S.l.], 1998.
- NBR 16605 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. [S.l.], 2017.
- NBR NM 45 Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. [S.l.], 2006.
- NBR NM 53 Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. [S.l.], 2003.
- NBR NM 53 Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. [S.l.], 2003.
- NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. [S.l.], 2003.
- NBR 7584 Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. [S.l.], 2012.
- ASTM. C 803/C 803M Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete. [S.l.], 2003.
- BANDEIRA, Flávia. Redes Neurais Artificiais Aplicadas à Modelagem Matemática de Ensaio Não Destrutivo para Determinação da Resistência à Compressão do Concreto. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), 2022.