



**Caracterização de concretos produzidos com o aditivo
DRY D1 NG segundo a norma ABNT NBR 11768-1**

Mestre Daniela Aparecida de Dutra Lima

Mestre Lucas Maia de Souza

Eng. Civil Cleber Souza do Amaral

Professor Doutor Dimas Alan Strauss Rambo

Professor Doutor Renan Pícolo Salvador

São Paulo, 03 de dezembro de 2024

Sumário

1. Introdução.....	4
2. Objetivos	4
3. Metodologia experimental.....	5
3.1. Materiais	5
3.2. Dosagem e preparação de concreto	5
3.3. Ensaios realizados.....	7
3.3.1. Fluorescência de raios-X	7
3.3.2. Análise termogravimétrica	7
3.3.3. Massa específica	8
3.3.4. Distribuição do tamanho de partícula.....	8
3.3.5. Abatimento do tronco de cone.....	8
3.3.6. Massa específica e teor de ar incorporado.....	8
3.3.7. Absorção de água por capilaridade.....	8
3.3.8. Resistência à compressão	9
3.3.9. Resistência à tração por flexão	9
3.3.10. Variação dimensional	9
4. Resultados e discussão	10
4.1. Caracterização do aditivo DRY D1 NG	10
4.1.1. Fluorescência de raios-X	10
4.1.2. Análise termogravimétrica	10
4.1.3. Massa específica	11
4.1.4. Distribuição do tamanho de partícula.....	11
4.2. Caracterização dos concretos produzidos com o aditivo DRY D1 NG.....	12
4.2.1. Abatimento do tronco de cone.....	12
4.2.2. Massa específica e teor de ar incorporado.....	13
4.2.3. Absorção de água por capilaridade.....	13
4.2.4. Resistência à compressão	14
4.2.5. Resistência à tração na flexão.....	14
4.2.6. Variação dimensional	15
5. Conclusões	16

Referências bibliográficas 17

1. Introdução

Este relatório apresenta a metodologia e os resultados obtidos pela caracterização de concretos produzidos com o aditivo DRY D1 NG segundo a norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019).

2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é caracterizar as propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com o aditivo DRY D1 NG, segundo a norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019). Para isso, foram definidos os 4 objetivos específicos, descritos a seguir:

- Caracterizar o aditivo DRY D1 NG segundo os requisitos e critérios da norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019).
- Dosar concretos que atendam os critérios e requisitos da norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019).
- Caracterizar as propriedades dos concretos produzidos no estado fresco e no estado endurecido.
- Verificar se os resultados obtidos cumprem os critérios e requisitos estipulados pela norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019).

3. Metodologia experimental

3.1. Materiais

Os materiais selecionados para o programa experimental estão descritos na Tabela 1. O aditivo DRY D1 NG foi fornecido pela empresa Chimica Edile do Brasil. O aditivo dispersante foi selecionado com base nas recomendações para emprego na fabricação de concretos para pisos industriais.

Tabela 1 - Materiais selecionados para o programa experimental.

Material	Marca	Descrição / tipo	Lote PROLAB
Cimento	Nacional	CP V ARI RS	120824C
Agregado miúdo	Construsac	Areia natural, 0,075 - 4,75 mm	120824A
Agregado miúdo	Construsac	Pó de pedra	120824P
Agregado graúdo	Construsac	Pedrisco, 4,75 - 9,5 mm	120824B0
Agregado graúdo	Construsac	Brita 1, 9,5 - 19,5 mm	120824B1
Água	Rede pública de abastecimento	-	-
Aditivo dispersante	GCP	Superplastificante, ADVA CAST 525	140424Ad
Aditivo compensador de retração	Chimica Edile do Brasil	DRY D1 NG	051024

3.2. Dosagem e preparação de concreto

A dosagem do concreto produzido foi baseada em composições empregadas em pisos industriais e encontra-se na Tabela 2. Para atingir a consistência e o abatimento prescritos, foi utilizado o aditivo superplastificante a 0,90% sobre a massa de cimento.

Tabela 2 - Dosagem de materiais para a produção de concreto.

Material	Quantidade (kg/m³)
Cimento	355,0
Areia natural	562,0
Pó de pedra	241,0
Pedrisco	213,0
Brita 1	853,0
Água	185,0
DRY D1 NG	0; 8; 10; 12,5
Superplastificante	3,19

No total, foram produzidos 4 concretos diferentes. O aditivo compensador de retração DRY D1 NG foi utilizado nas dosagens de 8,0, 10,0 e 12,5 kg/m³. Além disso, foi produzido um concreto sem aditivo compensador de retração, para fins de comparação (concreto referência). Para cada dosagem, um lote de 50 L de concreto foi produzido em um misturador de 250 L de capacidade. O processo de mistura consistiu em 3 passos, de acordo com a norma NBR 12655 (ABNT, 2015), descritos subsequentemente.

- Adição de todos os materiais secos e mistura por 1 min;
- Adição da água e mistura por 1 min;
- Adição dos aditivos dispersantes e mistura por 5 min.

Após a mistura, as propriedades do concreto no estado fresco foram caracterizadas. Então, 3 corpos de prova prismáticos (altura: 75 mm; largura: 75 mm; comprimento: 285 mm) foram moldados para o ensaio de variação dimensional, conforme NBR 16834 (ABNT, 2020a). Além disso, 4 corpos de prova prismáticos (altura: 100 mm; largura: 100 mm; comprimento: 400 mm) foram moldados para o ensaio de tração na flexão, conforme NBR 12142 (ABNT, 2010) e 16 corpos de prova cilíndricos (altura: 200 mm; diâmetro: 100 mm) foram moldados e para ensaios de compressão, conforme NBR 5739 (ABNT, 2018), e absorção de água por capilaridade, conforme NBR 9779 (ABNT, 2012).

Os corpos de prova prismáticos para o ensaio de variação dimensional foram desmoldados 15 h após a sua preparação e destinados à cura em câmara úmida a 95% de

umidade relativa e na temperatura de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ por 7 dias. Depois disso, foram alocados em câmara seca a 50% de umidade relativa e na temperatura de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ entre 7 e 56 dias.

3.3. Ensaios realizados

Os ensaios realizados estão mostrados na Tabela 3 e suas descrições estão apresentadas subsequentemente.

Tabela 3 - Ensaios realizados.

Ensaio	Amostra	Idade / Período	Referência
Fluorescência de raios-X	DRY D1 NG	Amostra tal qual	ISO 12677 (ABNT, 2014)
Análise termogravimétrica	DRY D1 NG	Amostra tal qual	LOTHENBACH; DURDZINSKI; WEERDT, 2015
Massa específica	DRY D1 NG	Amostra tal qual	NBR 16605 (ABNT, 2017)
Distribuição do tamanho de partícula	DRY D1 NG	Amostra tal qual	-
Abatimento do tronco de cone	Concreto fresco	5 min após a mistura	NBR 16889 (ABNT, 2020b)
Massa específica e teor de ar incorporado	Concreto fresco	5 min após a mistura	NBR 9833 (ABNT, 2008)
Absorção de água por capilaridade	Corpos de prova cilíndricos	28 dias	NBR 9779 (ABNT, 2012)
Resistência à compressão	Corpos de prova cilíndricos	1 e 28 dias	NBR 5739 (ABNT, 2018)
Resistência à tração na flexão	Corpos de prova prismáticos	28 dias	NBR 12142 (ABNT, 2010)
Variação dimensional	Corpos de prova prismático	0,5, 1, 3, 7, 14, 28 e 56 dias	NBR 16834 (ABNT, 2020a)

3.3.1. Fluorescência de raios-X

A espectrometria por fluorescência de raios-X foi realizada para determinar a composição química do aditivo DRY D1 NG. Foi realizada em amostra prensada e a perda ao fogo determinada a $1020 ^\circ\text{C}$ por 2 h, conforme na norma NBR ISO 12677 (ABNT, 2014).

3.3.2. Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica foi realizada em uma termobalança Netzsch Libra 209 F1, com cadinhos de alumina abertos. O teste foi conduzido entre 30 e $1200 ^\circ\text{C}$, com taxa de

aquecimento de 10 °C/min e fluxo de N₂ de 60 mL/min (LOTHENBACH; DURDZINSKI; WEERDT, 2015). Para a análise, foram utilizadas 130 mg de amostra do aditivo DRY D1 NG.

3.3.3. Massa específica

A massa específica do aditivo DRY D1 NG foi determinada usando o frasco de Le Chatelier, conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017).

3.3.4. Distribuição do tamanho de partícula

A distribuição do tamanho de partícula foi determinada por difratometria a laser em um equipamento Mastersizer 2000, Malvern Instruments, com uma dispersão do aditivo DRY D1 NG em álcool isopropílico.

3.3.5. Abatimento do tronco de cone

O abatimento foi determinado em concreto fresco utilizando o cone de Abrams, seguindo o procedimento da norma NBR 16889 (ABNT, 2020b).

3.3.6. Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica e o teor de ar incorporado foram determinados em concreto fresco utilizando um recipiente cilíndrico (volume: 7,8 L), seguindo a norma NBR 9833 (ABNT, 2008).

3.3.7. Absorção de água por capilaridade

O ensaio foi realizado com 3 corpos de prova cilíndricos de concreto, na idade de 28 dias, seguindo a NBR 9779 (ABNT, 2012). Os corpos de prova foram secos a 105 °C até constância de massa. Após a secagem, foram colocados dentro de um recipiente, sobre suportes, com nível de água atingindo (5 ± 1) mm de altura a partir da sua face inferior. A

absorção de água dos corpos de prova foi medida após 3, 6, 24, 48 e 72 h, contadas a partir da colocação em contato com a água.

3.3.8. Resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada por ensaios de compressão axial direta realizados em corpos de prova cilíndricos de concreto (altura: 200 mm; diâmetro: 100 mm). Os testes foram realizados em uma máquina universal de ensaios acoplada a uma célula de carga de 1100 kN, com taxa de carregamento igual a 0,45 MPa/min, conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). Foram ensaiados 4 corpos de prova nas idades de 1 e 28 dias para cada concreto produzido. Todos os corpos de prova foram retirados e ensaiados na condição saturado superfície seca.

3.3.9. Resistência à tração por flexão

O ensaio de tração por flexão em 4 pontos foi realizado seguindo a norma NBR 12142 (ABNT, 2010). O ensaio foi realizado com 4 corpos de prova prismáticos de concreto (altura: 100 mm; largura: 100 mm; comprimento: 400 mm), na idade de 28 dias. Foi utilizada uma prensa universal de capacidade igual a 100 tf, com velocidade de carregamento igual a 1,0 MPa/min.

3.3.10. Variação dimensional

O ensaio de variação dimensional foi realizado em corpos de prova prismáticos de concreto (altura: 75 mm; largura: 75 mm; comprimento: 285 mm), segundo a norma NBR 16834 (ABNT, 2020a). Os corpos de prova foram desformados 15 h após a moldagem e a primeira medida realizada. As medidas seguintes foram realizadas nas idades de 1, 3, 7, 14, 28 e 56 dias. Até os 7 dias, a cura foi realizada em câmara úmida a 95% de umidade relativa e na temperatura de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Entre 7 e 56 dias, a cura foi realizada em câmara seca a 50% de umidade relativa e na temperatura de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

4. Resultados e discussão

4.1. Caracterização do aditivo DRY D1 NG

4.1.1. Fluorescência de raios-X

Os resultados obtidos pela espectrometria de fluorescência de raios-X estão na Tabela 4. A perda ao fogo representa a perda de massa relativa à evaporação de água livre, desidratação do hidróxido de cálcio e descarbonatação do carbonato de cálcio.

Tabela 4 - Resultados da espectrometria de fluorescência de raios-X.

Óxido	Quantidade (% em massa)
Perda ao fogo (H ₂ O e CO ₂)	4,96
CaO	91,3
MgO	0,69
SiO ₂	1,07
Al ₂ O ₃	0,29
Fe ₂ O ₃	0,35
SrO	0,49
K ₂ O	0,09
Na ₂ O	0,05
SO ₃	0,58
P ₂ O ₅	0,14
Componentes minoritários	0,04
Total	100,05

4.1.2. Análise termogravimétrica

As curvas obtidas pela análise termogravimétrica do aditivo DRY D1 NG estão na Figura 1. Os resultados da análise, referentes à quantificação de hidróxido de cálcio e carbonato de cálcio, estão na Tabela 5. Dessa forma, conclui-se que o teor de óxido de cálcio

disponível no aditivo é de 90,0% em massa. Não foi constatada água livre no aditivo.

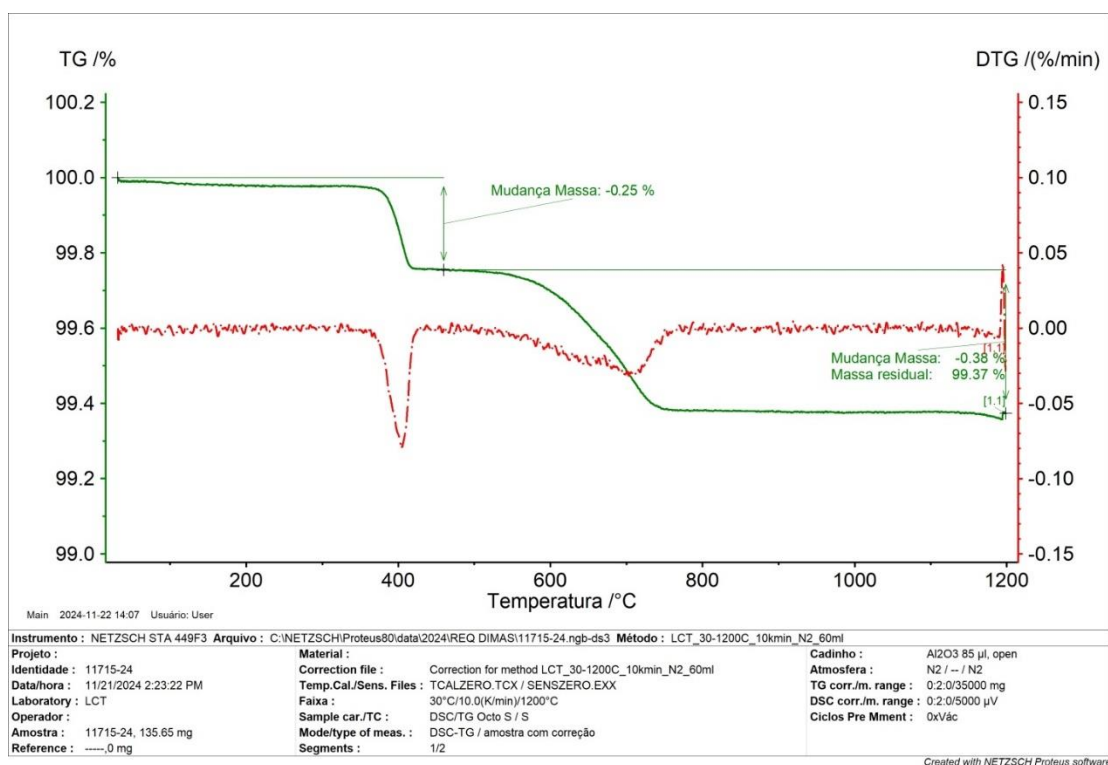


Figura 1 - Curva da análise termogravimétrica do aditivo DRY D1 NG.

Tabela 5 - Resultados obtidos pelas curvas da análise termogravimétrica.

Composto	Quantidade (% em massa)
Ca(OH) ₂	1,0
CaCO ₃	0,86

4.1.3. Massa específica

A massa específica do aditivo DRY D1 NG, medida conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017), foi igual a 3,14 g/cm³.

4.1.4. Distribuição do tamanho de partícula

As curvas obtidas pela análise da distribuição do tamanho de partículas estão na Figura 2 e as propriedades físicas do aditivo estão na Tabela 6.

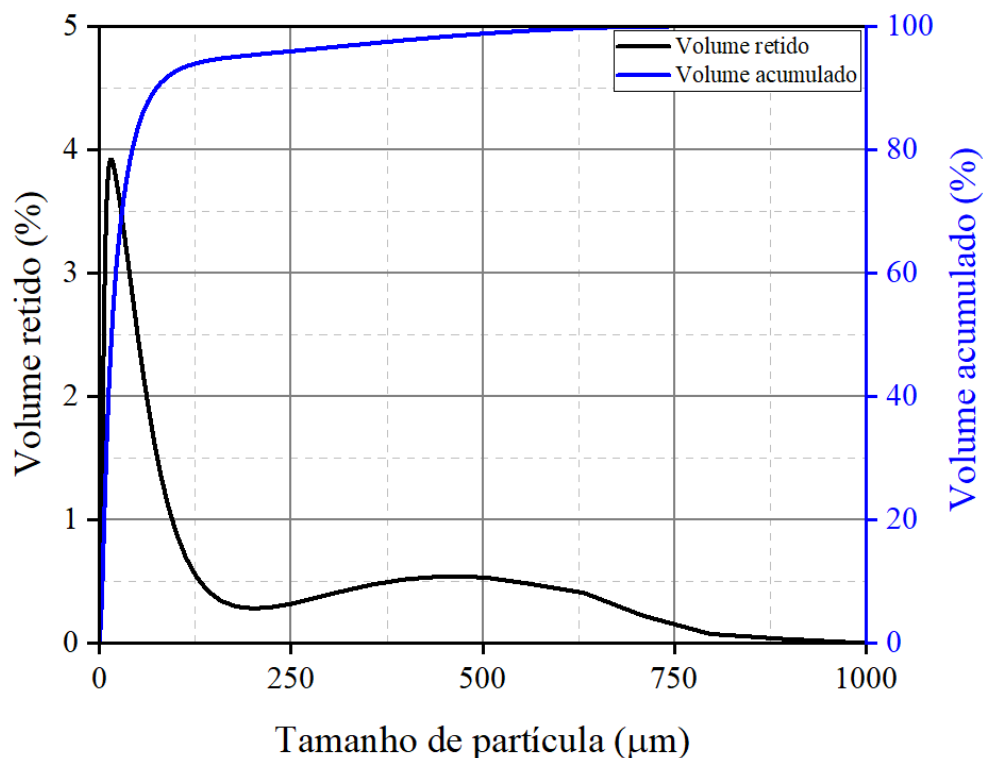


Figura 2 - Distribuição do tamanho de partícula do aditivo DRY D1 NG.

Tabela 6 - Propriedades físicas do aditivo DRY D1 NG.

Propriedade	Resultado
Superfície específica	0,829 m ² /g
d ₁₀	3,59 µm
d ₅₀	15,68 µm
d ₉₀	74,53 µm

4.2. Caracterização dos concretos produzidos com o aditivo DRY D1 NG

4.2.1. Abatimento do tronco de cone

A Tabela 7 apresenta os resultados da determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone dos concretos produzidos em função da dosagem do aditivo DRY D1 NG. Com o aumento da dosagem de DRY D1 NG, o abatimento também aumentou. Todos os concretos apresentaram aspecto coeso, sem tendência de segregação e exsudação. Todos os valores de abatimento obtidos para as misturas com DRY D1 NG se mantiveram dentro da

tolerância de $\pm 30\%$ estabelecida na NBR 11768-1 (ABNT, 2019). Vale ressaltar que os concretos foram produzidos com as mesmas quantidades de água e superplastificante.

Tabela 7 - Resultados da determinação do abatimento de tronco de cone.

Dosagem de DRY D1 NG (kg/m ³)	Abatimento (mm)	Varição no abatimento (%)
Referência	120	-
8,0	140	+16%
10,0	145	+20%
12,5	150	+25%

4.2.2. Massa específica e teor de ar incorporado

Os resultados da determinação da massa específica e do teor do ar incorporado aos concretos estão na Tabela 8. Observa-se que a utilização do aditivo DRY D1 não influencia a massa específica significativamente. Os valores do teor de ar incorporado estão dentro do intervalo ($\pm 2\%$) estabelecidos na norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019).

Tabela 8 - Resultados da determinação da massa específica e do teor de ar incorporado.

Dosagem de DRY D1 NG (kg/m ³)	Massa específica teórica (kg/m ³)	Massa específica real (kg/m ³)	Teor de ar incorporado (%)
Referência	2360,7	2302	2,5
8,0	2363,3	2305	2,5
10,0	2363,8	2310	2,3
12,5	2364,4	2312	2,2

4.2.3. Absorção de água por capilaridade

Os resultados de absorção de água por capilaridade estão na Tabela 9. Observa-se diminuição da absorção de água com o uso do aditivo DRY D1 NG. Quanto maior a dosagem do aditivo, maior a redução na absorção de água por capilaridade. Isso ocorre devido ao preenchimento dos poros da matriz pelos produtos de hidratação do aditivo, tornando o concreto menos permeável.

Tabela 9 - Resultados médios de absorção de água por capilaridade.

Dosagem de DRY D1 NG (kg/m ³)	Absorção de água por capilaridade (mg/mm ²)				
	3h	6h	24h	48h	72h
Referência	0,92	1,05	1,79	2,08	2,45
8,0	0,85	0,98	1,71	1,99	2,31 (IM*=0,94)
10,0	0,80	0,92	1,66	1,94	2,30 (IM*=0,94)
12,5	0,70	0,80	1,43	1,66	1,95 (IM*=0,80)

*IM: índice de multiplicação. Quociente entre o resultado do ensaio do concreto com aditivo pelo resultado do concreto referência sem aditivo.

4.2.4. Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão encontram-se na Tabela 10. Os concretos produzidos com 8, 10 e 12,5 kg/m³ de DRY D1 NG apresentaram valores médios de resistência à compressão 3%, 10% e 10% maiores que o concreto referência na idade de 28 dias, respectivamente. O aumento na resistência é devido ao maior preenchimento de poros e à geração de C-S-H quando o DRY D1 NG é utilizado (OLIVEIRA, 2021). Em todos os casos, o índice de multiplicação (IM) estabelecido pela norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019) foi superior a 0,95.

Tabela 10 - Resultados médios de resistência à compressão.

Dosagem de DRY D1 NG (kg/m ³)	f _{cm,1} (MPa)	f _{cm,28} (MPa)
Referência	14,8 ± 0,5	38,7 ± 3,9
8,0	18,8 ± 0,4 (IM*=1,27)	40,0 ± 3,4 (IM*=1,03)
10,0	17,1 ± 0,2 (IM*=1,16)	42,6 ± 2,2 (IM*=1,10)
12,5	17,2 ± 0,9 (IM*=1,16)	42,5 ± 2,3 (IM*=1,10)

*IM: índice de multiplicação. Quociente entre o resultado do ensaio do concreto com aditivo pelo resultado do concreto referência sem aditivo.

4.2.5. Resistência à tração na flexão

Os resultados de resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos na idade de 28 dias estão na Tabela 11. Todas as rupturas ocorreram no terço médio do corpo de prova. Com a utilização do DRY D1 NG, observa-se ligeiro aumento nos valores de resistência à

tração na flexão com as dosagens de 10 e 12,5 kg/m³. Em todos os casos, o índice de multiplicação (IM) estabelecido pela norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019) foi superior a 0,95.

Tabela 11 - Resultados médios de resistência à tração por flexão.

Dosagem de DRY D1 NG (kg/m ³)	f _{ct,28} (MPa)
Referência	5,3 ± 0,3
8,0	5,2 ± 0,1 (IM* = 0,98)
10,0	5,6 ± 0,2 (IM* = 1,06)
12,5	5,5 ± 0,3 (IM* = 1,04)

*IM: índice de multiplicação. Quociente entre o resultado do ensaio do concreto com aditivo pelo resultado do concreto referência sem aditivo.

4.2.6. Variação dimensional

A Figura 3 apresenta as curvas de variação dimensional para os concretos produzidos com os aditivos compensadores de retração até os 56 dias. Os resultados derivados das medidas estão resumidos na Tabela 12. Quanto maior a dosagem do compensador de retração, maior a expansão inicial até os 7 dias, e menor a retração aos 56 dias.

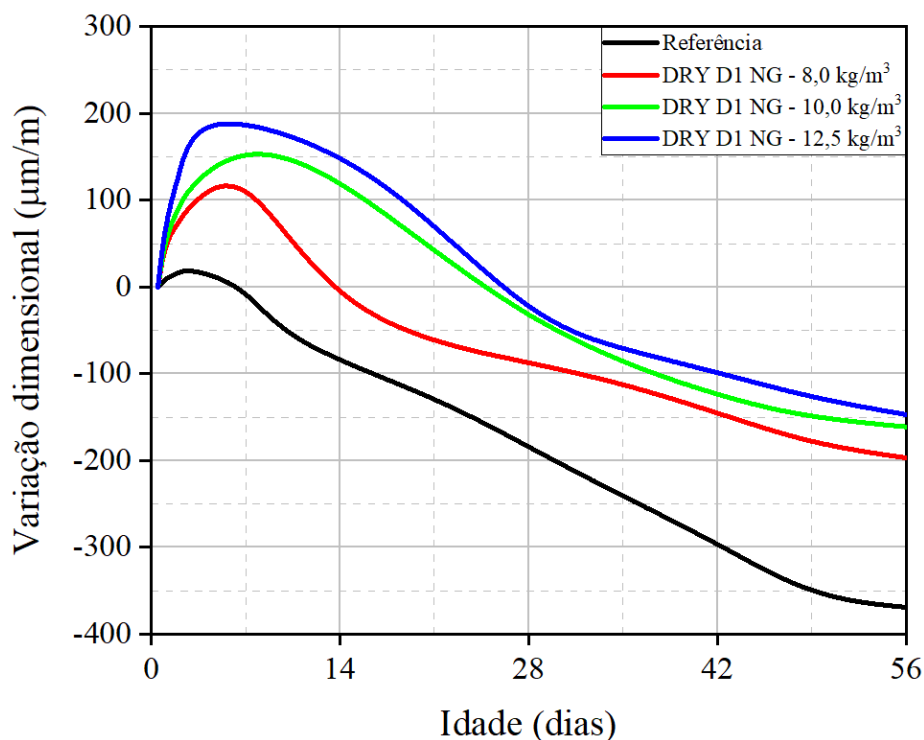


Figura 3 - Resultados de variação dimensional até os 56 dias.

Tabela 12 - Resultados de variação dimensional aos 28 e aos 56 dias.

Dosagem de DRY D1 NG (kg/m ³)	Varição dimensional aos 28 dias (µm/m)	Varição dimensional aos 56 dias (µm/m)
Referência	-193	-369
8,0	-87	-197
10,0	-49	-161
12,5	-38	-147

5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o aditivo DRY D1 NG cumpre todas as especificações estabelecidas pela norma NBR 11768-1 (ABNT, 2019), conforme apresentado na Tabela 13. Além disso, todas as propriedades dos concretos ensaiados ficaram dentro dos limites estabelecidos pela norma.

Tabela 13 - Propriedades do aditivo DRY D1 NG.

Propriedade	Especificação ABNT NBR 11768-1	Resultados DRY D1 NG
Homogeneidade	Homogêneo no momento de sua utilização não apresentando separação ou sedimentação	Homogêneo, sem separação ou sedimentação
Cor	Uniforme e similar à descrição informada pelo fabricante	Branco, uniforme
Aspecto visual	Pó	Pó
Teor de álcalis totais	< 1% em massa	0,14% em massa
Teor de sulfatos	< 1% em massa	0,58% em massa
Óxido de cálcio	> 88% em massa	90,0% em massa
Perda ao fogo	< 5% em massa	4,96% em massa
Massa específica	≥ 3,1 g/cm ³	3,14 g/cm ³
Teor de ar no concreto fresco	± 2,0%	= 0,3%
Resistência à compressão aos 28 dias	IM ≥ 0,95	1,03 ≤ IM ≤ 1,10
Resistência à tração na flexão aos 28 dias	IM ≥ 0,95	0,98 ≤ IM ≤ 1,06
Absorção de água por capilaridade	IM ≤ 1,05	0,80 ≤ IM ≤ 0,94

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **ABNT NBR 12142**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **ABNT NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **ABNT NBR ISO 12677**. Análise química de produtos refratários por fluorescência de raios X (XRF) - Método do corpo de prova fundido. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **ABNT NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **ABNT NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **ABNT NBR 11768-1**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Parte 1 - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **ABNT NBR 16834**: Concreto - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

_____. **ABNT NBR 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

LOTHENBACH, B.; DURDZINSKI, P.; WEERDT, K. D. E. **Thermogravimetric analysis**. Em: SCRIVENER, K. L.; SNELLINGS, R.; LOTHENBACH, B. (Eds.). *A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials*. 1st. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. p. 177–212.

OLIVEIRA, C. U. Análise de desempenho físico e mecânico de tubos de concreto produzidos com aditivo baseado em óxido de cálcio supercalcinado. Dissertação (Mestrado). São Paulo. Universidade São Judas Tadeu, 2021.

Relatório elaborado por Prof. Dr. Renan Pícolo Salvador