



VIABILIDADE DO USO DE ESCÓRIA DE ALTO FORNO NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM CONCRETO USINADO

Daniela Pereira de Ornelas

Carlos Henrique Carvalho Júnior

Curso: Engenharia Civil / Área de Pesquisa: Concreto

Resumo: Atualmente, por questões de execução, economia e qualidade, as construções civis têm utilizado o concreto usinado. Estudos mostram a diversidade de traços existentes para melhorar a qualidade do concreto, torná-lo mais sustentável e garantir custo/benefício às construtoras e usinas de concreto. O objetivo deste trabalho é substituir parte da matéria principal do concreto – o Cimento Portland, por um resíduo descartável de siderúrgica – a escória de alto-forno, garantindo o mesmo desempenho e menor custo em relação ao concreto tradicional, sem interferir nas suas propriedades físicas e mecânicas, em estado fresco e endurecido. Foi feito a substituição do cimento Portland CP V – ARI, por escória de alto-forno em pó em 10%, 20% e 30%. Amostras de cada traço foram retiradas para verificação de resistência à compressão em comparação ao traço usual, de Resistência Característica do Concreto (FCK) de 25 mega pascal (Mpa). Resultados mostraram que a escória de alto-forno necessita de tratamento e estudos específicos para que sua resistência seja aproximada à resistência do cimento Portland, já que 10% de substituição ainda não foi suficiente para confirmação da tese.

Palavras-chave: Escória. Concreto. Cimento.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil vem sendo destaque nos últimos anos por seu setor consumir de 40% a 75% da matéria-prima produzida no planeta (JOHN,2000). A produção do Cimento Portland, por exemplo, gera grande aumento do aquecimento global devido à grande emissão de dióxido de Carbono (CO₂); ao produzir 1 tonelada de cimento, a atmosfera recebe 1 tonelada de CO₂, gás responsável pelo efeito estufa (BILODEAL e MALHOTA,2000). Seu consumo, segundo o Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP-1997), chega a ser maior que o de alimentos, e o concreto, perde nesse mesmo *hanking* somente para o consumo de água potável.

Outra área que vem chamando a atenção por desencadear impactos ambientais e ainda produzir desperdícios são os resíduos de siderúrgicas. Em 2017, o Instituto Aço Brasil em seu Relatório de Sustentabilidade, publicou que a cada tonelada de aço produzida, 607 quilogramas de escória e outros resíduos sólidos são gerados. Segundo BELLMANN (2009), a aplicação dessa escória na construção civil, pode reduzir aproximadamente 5% da emissão de CO₂ gastos na produção do cimento e do concreto. A possibilidade de reutilização deste resíduo, além de evitar aterros industriais, promete trazer lucro para o gerador, aumentar economia de matéria-prima e contribuir para a sustentabilidade (BINA et al., 2002).

À procura de uma melhor qualidade de vida, iniciam-se estudos tecnológicos e científicos em busca de meios eficazes para reciclagem e reutilização de resíduos das siderúrgicas no ambiente de construção civil. Também é possível observar uma gama de ideias e metodologias de análises laboratoriais referentes à durabilidade e resistência do concreto. A substituição e/ou diminuição do uso do cimento Portland na produção do concreto por escória, pode reduzir tanto os impactos ambientais quanto os custos financeiros do processo de fabricação. As únicas preocupações perante essa possível solução sustentável são as vantagens técnicas do seu uso e a possibilidade de se obter melhorias nas propriedades do concreto, tornando-se viável ou não às concreteiras optarem pelo seu uso. O tratamento adequado e bom estudo podem ampliar seu consumo nas centrais de concreto usinado da região, podendo trazer o mesmo resultado de um concreto tradicional, sem adição do mineral e, ao mesmo tempo, transformar o resíduo em fonte renovável, eliminando-o dos pátios das usinas siderúrgicas.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral:

Avaliar o desempenho e a viabilidade da substituição parcial do Cimento Portland por escória de alto-forno no concreto em diferentes proporções, de modo que, suas propriedades físicas e mecânicas não sejam afetadas, visando sua reinserção no processo produtivo, diminuindo a quantidade deste resíduo no meio ambiente e alcançando parâmetros de sustentabilidade e economia nas usinas de concreto.

1.1.2. Objetivos específicos:

- Verificação da trabalhabilidade do concreto com escória, em seu estado fresco;
- Verificação da resistência à compressão em 7 e 28 dias, em estado endurecido;
- Propriedades a serem analisadas:
 - Consistência/Trabalhabilidade;
 - Resistência a Compressão;

- Absorção de água; e
- Retração.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Referencial Teórico

2.1.1 Concreto

O concreto é um dos principais materiais da construção civil, necessário nas várias etapas construtivas, independentemente do tipo. É composto pela mistura entre agregados graúdos – britas, agregados miúdos - areia e/ou pó de pedra, água, aditivos e adições, sendo que estes dois últimos são usados dependendo da necessidade de melhoria no seu desempenho. Logo, o material tornou-se alterável em relação à forma e propriedades, observando o conceito de utilização pode sofrer alterações na sua aplicação, custo, resistência, e demais fatores. É um material que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregado (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.1.2 Componentes do Concreto

2.1.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, produto resultante de rochas calcárias que é resfriado e moído, produzindo um pó fino com adição de gesso, comercialmente usado em todo o mundo (NEVILLE, 1997). Graças a sua composição é possível fazer adições ao material com escória de alto-forno, pozolana e material carbonático.

Atualmente na construção civil, o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural, considerado uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento das civilizações da humanidade (ANDRADE, 2007).

Há 5 categorias de tipos de Cimento Portland e 2 categorias especiais como mostrados na figura 1:

Figura 1. Tipos e especificações do cimento Portland.



Fonte: COMBRASEN - Companhia Brasileira de Soluções e Engenharia, 2018.

2.1.2.2 Agregados

Os agregados são materiais sólidos e inertes que possuem granulometrias específicas para se misturar ao cimento e a água com o objetivo de diminuir o custo dos concretos. Tal economia não é a única razão, pois nelas há vantagens técnicas consideráveis ao concreto, trazendo estabilidade em dimensão e maior durabilidade.

A forma, textura dos agregados, granulometria, porosidade e massa específica diversificam as diferentes propriedades do concreto (NEVILLE, 1997).

2.1.2.3 Aditivos

Os aditivos são produtos para adicionar ao concreto com o objetivo de modificar suas propriedades físicas, facilitar seu manuseio e aplicação em relação ao concreto tradicional. Visam à melhoria na trabalhabilidade, acelera ou retarda o tempo de pega, controla a resistência e se intensificam em ação ao congelamento, fissuração térmica, expansão álcali-agregado, ataque por sulfato e corrosão do aço (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.1.2.4 Adições

A iniciativa em adicionar produtos e materiais ao concreto veio da necessidade de modificar e aprimorar algumas de suas características.

Quando se faz a substituição parcial do cimento Portland por cinza volante ou de casca de arroz, escórias de alto forno ou sílica ativa encontram-se comportamentos distintos (ISAÍÁ, 2007).

2.1.3 Impactos ambientais da construção civil

O termo sustentabilidade vem sendo implantado na construção civil como forma de garantir que toda ação construtiva venha reduzir impactos ambientais, trazendo viabilidade econômica e garantindo a qualidade de vida das futuras gerações. Estudar alternativas de explorar recursos naturais, reutilizar materiais e conseguir formas de gerar e/ou economizar energia são exemplos destas ações.

2.1.4 Resíduos siderúrgicos

O Brasil é o maior produtor mundial de ferro-gusa e Minas Gerais o maior estado produtor do país (51,4%, equivalente a 32% das exportações). Em 2010, foram produzidos 31 milhões de toneladas (VALE, 2012).

2.1.5 Escória de Alto-forno

A escória é um subproduto inevitável e totalmente descartável dos processos siderúrgicos. Sua formação dá-se pela fusão da ganga do minério de ferro e dos fundentes através de reações químicas (MASSUCATO, 2005).

A adição de escória de alto-forno pode trazer melhorias nas características do concreto, em estado fresco e endurecido. A mistura é mais coesiva e fluida, pois possui melhor distribuição de partículas em superfícies mais lisas, que absorvem pouca água. Logo, proporciona lenta perda de calor, devido à velocidade das reações de hidratação, melhorando a resistência mecânica e a durabilidade dos concretos em longo prazo (NEVILLE, 1997).

2.1.5.1 Propriedades da Escória

A possibilidade da utilização de escórias como material de propriedades pozolânicas e cimentícias dependem da sua composição química, de suas

características reativas e de características ambientais (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.1.6 Ensaio de Determinação da Consistência pelo abatimento do tronco de cone – NBR NM 67 (1998).

O ensaio consiste em determinar a consistência do concreto.

É composto por molde em forma de tronco de cone, base metálica e haste de compactação. Os materiais são umedecidos e o operador deverá posicionar os dois pés nas laterais do tronco de cone de modo a garantir que não haja movimentação diante dos demais processos. O preenchimento do cone ocorre em três camadas, de 1/3 cada. Cada camada deve ser compactada com 25 golpes pela haste, de modo que cada golpe não atinja a camada inferior que já foi adensada. Após preenchimento do cone, rasar sua superfície e levantá-lo cuidadosamente de 5 a 10 segundos e com movimento constante para cima.

Para medir o abatimento, posiciona-se o molde ao lado do concreto, seu resultado provém da medida entre o topo do concreto e a altura do tronco de cone.

2.1.7 Moldagem, Cura e Rompimento de Corpos de Prova

Para realização destas etapas é necessário que os moldes cilíndricos tenham de altura o dobro do seu diâmetro e sejam de aço ou outro material não absorvente e de fácil desforma. A moldagem é feita com o concreto em estado fresco, seguindo recomendações da NBR 5738 (2015) preenchendo os moldes em duas camadas e dando 12 golpes em cada camada com a haste. Para desforma, é necessário que as amostras tenham ficado nas formas por 24 horas. Os corpos de prova deverão ser colocados em um tanque com água à temperatura de 25°C +/- 2°C até a idade de rompimento desejada.

Para garantir que os corpos de prova durante o rompimento sejam pressionados em toda área, faz-se a retificação das superfícies superior e inferior. A prensa de ruptura deve estar calibrada e em boas condições para rompimento das amostras, mediante recomendações da NBR 5739 (2018).

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais

3.1.1 Cimento Portland CP V – ARI RS

Foi utilizado para estudo, o cimento CP V- ARI RS, de alta resistência inicial, da marca Liz, fornecido pela CONCRETMAIS – Usina de Concreto de Manhauçu/MG.

3.1.2 Escória de Alto-forno (em Pó)

A escória de alto-forno foi um produto provindo da siderúrgica Arcelor Mittal da cidade de João Monlevade - MG. Material este, doado para a MCI Reciclagem e Comércio fazer a separação do cascalho e do pó para reaproveitamento; essa separação é feita na peneira de 1 (um) milímetro (mm).

3.1.3. Água

A água utilizada no processo de fabricação do concreto é provinda do abastecimento público e atende aos quesitos da NBR 15900-1 (2009) – “Água para amassamento do concreto”.

3.1.4. Aditivo

O aditivo utilizado é o ADI POLI BR 930, da Aditibras, plastificante que garante viabilidade do uso da areia artificial, agindo no concreto reduzindo a tensão superficial da água, dando excelente plasticidade, trabalhabilidade e ganho de resistência. É líquido, castanho escuro, com pH de $7,5 \pm 1,0$ e massa específica de $1,1 \text{ g/cm}^3$.

3.1.5. Agregados

Os agregados utilizados são do sudeste de Minas Gerais e atendem aos quesitos da NBR 7211 (1983) – “Agregado para Concreto”.

São eles: Brita 0 e 1, Areia natural média e Areia artificial (pó de pedra).

3.2. Método utilizado

Para definição das características dos materiais que compõem o concreto, foi feita uma pesquisa com a usina de concreto Concretmais, em Manhuaçu-MG, que através de seus fornecedores, disponibilizaram dados sobre os materiais utilizados na produção do concreto, como: custo/preço, granulometria, peso específico, massa unitária, teor de ar incorporado, diâmetro, módulo de finura e índice de vazios.

O traço escolhido para ser testado, foi o de Resistência Característica (FCK) de 25 mega pascal (Mpa), um dos traços mais utilizados para peças estruturais e consequentemente o mais vendido pela usina de concreto. Para a produção do concreto com adição de escória de alto-forno, foi utilizada a quantidade de material necessária para a produção de um metro cúbico (1m^3) do traço, com a substituição parcial do cimento composto na mistura. Para comparativo, foi feito o estudo com um traço sem adição da escória e mais 3 (três) traços com a substituição dela em 10%, em 20% e em 30%. Os demais materiais não sofreram alterações.

Na fase de preparação do concreto foi definida a ordem de colocação dos materiais na betoneira, de acordo com o traço já pré-calculado. Os materiais foram misturados até atingirem homogeneidade e mesma consistência.

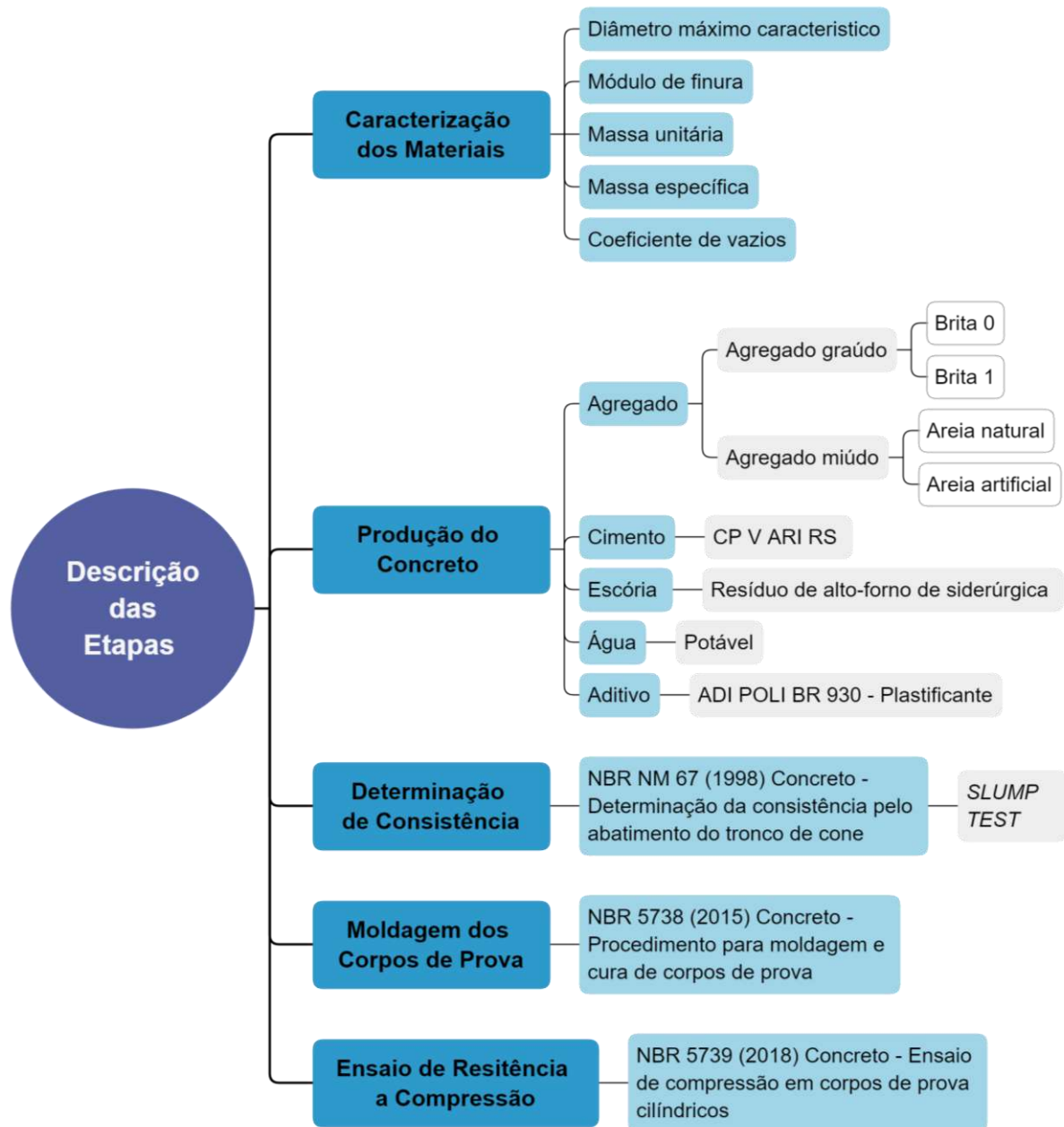
Após a homogeneização da mistura, foi feito, de acordo com a NBR NM 67 (1998), a determinação da consistência do concreto de cada traço por meio do abatimento do tronco de cone, com *slump* de 160 ± 20 milímetros (mm). A preparação foi feita com muito cuidado para que todos os traços tivessem a mesma consistência e todos os materiais estivessem secos, com o mínimo de umidade possível para não influenciar na quantidade de água gasta na mistura.

Com a mistura na mesma consistência, *slump* 160mm, foram moldadas 10 unidades de corpo de prova de cada traço. Para a realização da moldagem, foram utilizados moldes cilíndricos de 100x200mm e seguido os cuidados da NBR 5738 (2015).

Das 10 amostras de cada traço, 4 unidades de cada foram usadas para teste de resistência em 7 dias, 4 unidades em 28 dias e 2 unidades para uso caso ocorresse alguma eventualidade com os demais.

O organograma abaixo descreve de forma sucinta as etapas deste processo:

Figura 2. Organograma de descrição das etapas.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A prensa utilizada para o rompimento dos corpos de prova foi de modelo hidráulico e emite os resultados de cargas em toneladas. Para a verificação da resistência em Mpa, fez-se necessário a conversão dos valores através da fórmula:

$$\sigma = (F/A) \cdot 100$$

$$A = \pi r^2$$

Onde:

σ = Tensão

F = Força

A = Área

R = Raio

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

4.1. Propriedade dos Materiais

Todos os materiais utilizados para a produção do concreto foram fornecidos pela Usina de Concreto – Concretmais, com filial instalada na cidade de Manhuaçu/MG. Suas características gerais foram disponibilizadas por fornecedores e estão detalhadas e comprovadas nos anexos A, B, C, D, E, F e conforme tabela 1.

Tabela 1. Propriedades dos materiais utilizados para produção do concreto.

Propriedades		Areia Natural	Brita 0	Brita 1	Areia Artificial
Diâm. máx. característico	NBR NM 248	4,8 mm	9,5 mm	19 mm	6,3 mm
Módulo de finura	NBR NM 248	2,327	5,704	6,966	2,835
Massa unitária	NBR NM 45	1,355 g/cm ³	1,512	1,482	1,495 g/cm ³
Massa específica	NBR NM 52	2,674 g/cm ³	2,674	2,66	2,646 g/cm ³
Coeficiente de Vazios	NBR NM 45	49,32%	43,45%	44,28%	43,48%

Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2. Custo bruto

Para comparativo de custo/benefício em função da viabilidade do uso da escória como material de substituição parcial ao cimento, foi fornecido pela Usina de Concreto Concretmais, como mostra a tabela 2, os valores por tonelada de cada material que compõem o concreto usinado; o valor bruto de 1 (um) metro cúbico (m³) de concreto FCK 25 Mpa está descrito na tabela 3, juntamente com o preço do concreto com 10%, 20% e com 30% de substituição.

Tabela 2. Preço dos materiais usados na produção do concreto.

Material	Preço (R\$)
Cimento:	501,00 / Tonelada
Brita 0 e 1	55,00 / Tonelada
Areia artificial	26,00 / Tonelada
Areia natural	30,00 /Tonelada
Aditivo Poli BR 86	1,94 / Litros
Escória de alto-forno	3,30 / Tonelada

Fonte: Autoria própria, 2021.

Posteriormente, na figura 3, temos a economia gerada com a utilização do concreto com as substituições.

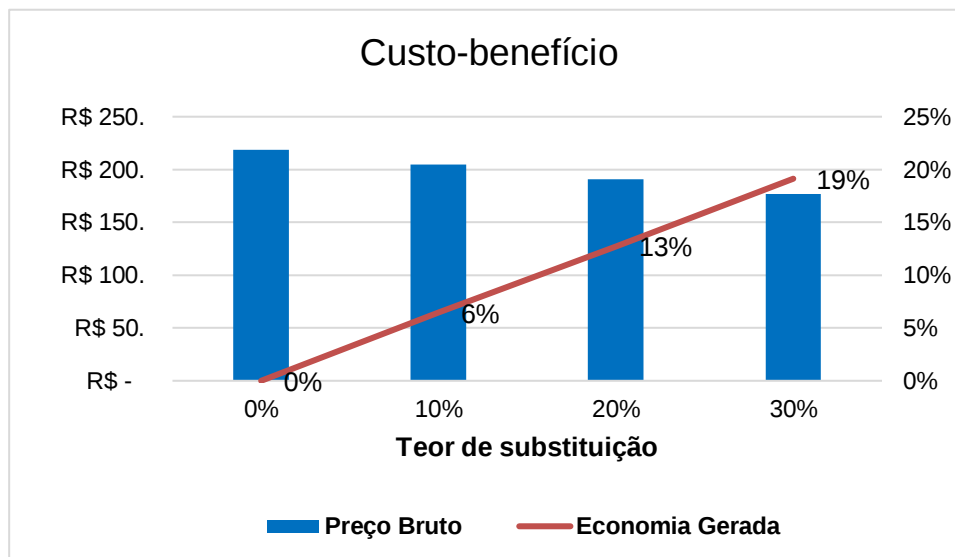
Tabela 3. Preço bruto / m³ do concreto tradicional e do concreto com a substituição de cimento por escória em 10%, 20% e 30%.

	0%	10%	20%	30%
Materiais	R\$ / Tonelada	R\$ / Tonelada	R\$ / Tonelada	R\$ / Tonelada
Cimento	140,5	126,3	112,45	112,45
Areia Natural	16,6	16,6	16,6	16,6
Areia Artificial	6,6	6,6	6,6	6,6
Brita 1	29,15	29,15	29,15	29,15
Brita 0	22	22	22	22
Aditivo	3,9	3,9	3,9	3,9
escória	0	0,1	0,19	0,19
Preço bruto (R\$)	218,75	204,65	190,89	176,9
Economia Gerada	-	6%	13%	19%

*Preço bruto, fora encargos como impostos, transportes, custo operário e administrativo

Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 3. Gráfico de representação da economia gerada utilizando o concreto com substituição



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.3. Umidade

Para que houvesse o mínimo de interferência nos traços devido à umidade dos materiais, foi feita a secagem dos mesmos com exposição ao sol durante manhã

e início de tarde até o dia em que foi feito a mistura do concreto. À noite, os materiais permaneceram cobertos a fim de manter a umidade que foi perdida durante o dia.

Na figura 4, possui imagens dos materiais utilizados; Em (A): Cimento Portland CP V – ARI RS, de alta resistência inicial; (B): escória de alto-forno em pó, peneirada na peneira de 100 milímetros (mm); (C): areia natural média; (D): areia artificial; (E): brita 1 e (F): brita 0.

Figura 4. Materiais utilizados para a produção do concreto



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.4. Traço

O traço escolhido para ser testado foi o FCK 25 Mpa de *Slump* 160 ± 20 mm. Para sua execução, foi feita a substituição parcial do cimento Portland CP V- ARIRS em 10%, 20% e 30% por escória em pó nas proporções mostradas na Tabela 4. O traço de 1 metro cúbico (m^3) foi reduzido para $0,05 m^3$ por não haver necessidade de uma quantidade maior do traço. Tal quantidade foi suficiente para a moldagem dos corpos de prova e espalhamento nas formas em piso para verificação de retração.

Tabela 4. Relação Traço x Substituição parcial do cimento por escória.

Teor de substituição	Cimento (Kg)	Escória (Kg)	Areia Natural (Kg)	Areia Artificial (Kg)	Brita 0 (Kg)	Brita 1 (Kg)	Aditivo (Poli BR 86) (L)	Água (L)
0%	14	-	27,6	12,6	26,5	20	0,1	9,8
10%	12,62	1,4	27,6	12,6	26,5	20	0,1	9,8
20%	11,22	2,8	27,6	12,6	26,5	20	0,1	9,8
30%	9,82	4,2	27,6	12,6	26,5	20	0,1	9,8

Fonte: Autoria própria, 2021 – Quantidade: 0,05m³

4.5. Produção do concreto e verificação de consistência

Para mistura do concreto, foi seguido à seguinte ordem de colocação na betoneira:

- 1º - Areia Natural;
- 2º - Brita 1;
- 3º - Brita 0;
- 4º - Areia Artificial;
- 5º - Cimento;
- 6º - Escória;
- 7º - Aditivo e Água (juntos).

O processo de produção do concreto em seus diferentes traços foi feito no dia 04 de maio de 2021. A mistura durou até que o concreto estivesse homogêneo e com a consistência desejada, como mostra a figura 5.

Para a realização do ensaio, foram utilizados equipamentos de acordo com a NBR 67 (1998), compostos por tronco de cone, haste de compactação, concha, e base metálica, mostrado em (A); Em (B), pode-se ver que foi feito acabamento na superfície do tronco de cone após compactação das 3 (três) camadas exigidas no processo de ensaio. Em (C), mostra o resultado do ensaio, informando que a consistência do concreto em teste foi de 16 centímetros (cm).

Figura 5. Processo de execução do Ensaio de Abatimento do tronco de cone.

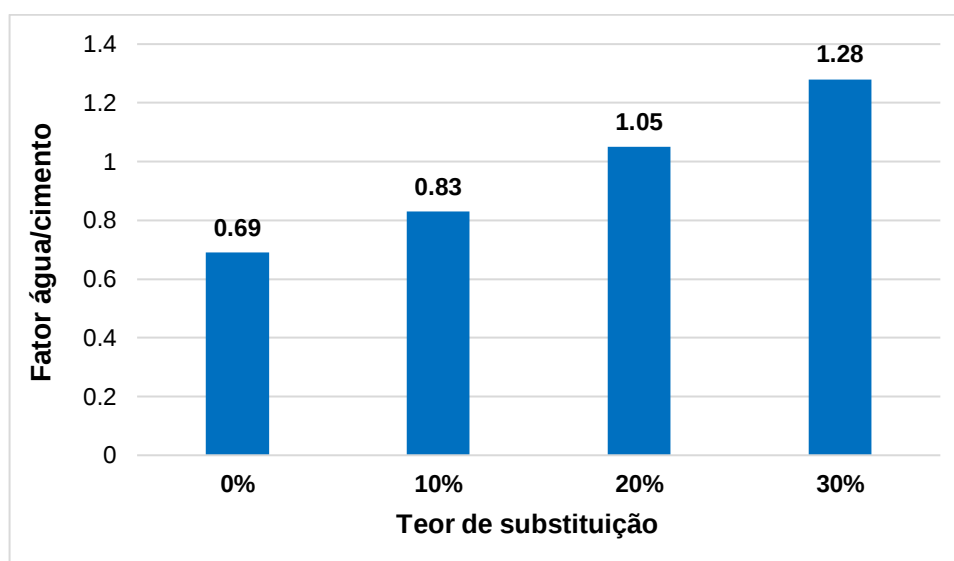


Fonte: Autoria própria, 2021.

Um ponto a ser observado foi à quantidade de água que cada traço, durante a mistura exigiu para atingir a mesma consistência e trabalhabilidade. É possível perceber através do figura 6, onde:

- Para 0% - 9,8 L;
- Para 10% - 10,5 L;
- Para 20% - 11,8 L; e
- Para 30% - 12,6 L

Figura 6. Gráfico de água/cimento em relação ao teor de substituição



Fonte: Autoria própria, 2021.

Logo, o concreto com adição de escória de alto-forno, necessita de maior quantidade de água durante o processo de amassamento para atingir consistência e obter reajuste do fator água cimento, já que quanto maior foi à porcentagem de substituição, maior foi a quantidade de água adicionada.

4.6. Moldagem, cura e rompimento das amostras

4.6.1. Moldagem

Após verificação do *Slump Test* em todos os traços, foi feito a moldagem dos corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (2015) no laboratório da Concretmais, como mostrado na figura 7.

Figura 7. Amostras dos traços de concreto com e sem adição de escória.



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.6.2. Desforma e cura

Após um período de 24 (vinte e quatro) horas, os corpos de prova de cada traço, com bastante cuidado, foram retirados das formas e identificados com um lápis de cera, identificados na figura 8; cada uma das amostras foram marcadas por teor de substituição e data de ruptura (A) e em seguida colocados no tanque de cura, mostrado em (B); todo o processo obedeceu à NBR 5739 (2018).

Figura 8. Amostras identificadas e colocadas no tanque de cura.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O restante de concreto da mistura foi espalhado em formas no piso para verificação visual de retração do concreto como mostrado na figura 9. Tanto em (A) como em (B) foram feitas a cura com água durante 7 dias.

Figura 9. Concreto dos traços espalhados em formas para verificação da retração.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Foi observado durante o processo de cura que não houve nenhuma retração no concreto; os traços com substituição parcial de cimento por escória tiveram o mesmo desempenho que o concreto tradicional sem a adição.

4.6.3 Ensaio de resistência à compressão

A data e período de rompimento das amostras ocorreram em:

- 11/05/2021, com o período de 7 dias; e
- 01/06/2021, com o período de 28 dias.

Para a etapa de ruptura, todos os corpos de prova foram retirados do tanque de cura que permaneceu durante todo o período à uma temperatura que variava de 25°C +/- 2°C.

O ensaio de resistência à compressão, descrito pela NBR 5739 (2018), foi feito após a retificação das superfícies inferior e superior, de modo que ocorresse perfeito encaixe das amostras no equipamento da prensa.

Durante processo de retificação das amostras, foi possível verificar visualmente, que quanto maior era o teor de substituição do cimento por escória no traço estudado, maior era a quantidade de mini poros no concreto em estado endurecido, apresentando vazios como mostrado na figura 10.

Figura 10. Aparência da amostra com 30% de substituição e 7 dias de cura.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para o ensaio de resistência à compressão foi conferida a calibração da prensa (anexo G). Os corpos de prova foram posicionados no centro do equipamento para compressão e pressionados até o máximo de carga que aguentaram como mostra a figura 11.

Figura 11. Rompimento dos Corpos de prova



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os resultados emitidos pela prensa são dados em toneladas. A tabela 5 contém os resultados em toneladas e o resultado da conversão deles em Mpa.

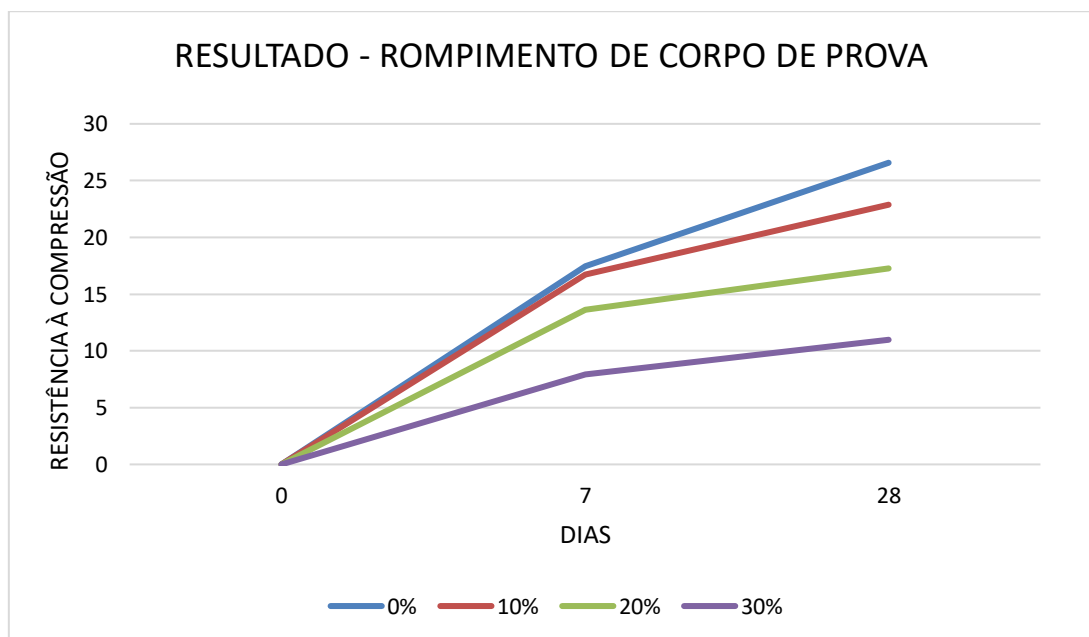
Tabela 5. Resultados de ruptura dos corpos de prova de cada traço.

Teor de Substituição	7 dias		28 dias	
	Tonelada	Mpa	Tonelada	Mpa
0%	13,7	17,44	21,08	26,84
	13,54	17,24	21,13	26,90
	13,92	17,72	20,83	26,52
	13,64	17,37	20,45	26,04
10%	11,71	14,91	18,74	23,86
	12,67	16,13	17,53	22,32
	14,27	18,17	19,79	25,20
	13,92	17,72	17,63	22,45
20%	10,03	12,77	13,2	16,81
	11,11	14,15	13,92	17,72
	11,08	14,11	13,44	17,11
	10,53	13,41	13,68	17,42
30%	5,85	7,45	8,62	10,98
	6,18	7,87	8,37	10,66
	6,3	8,02	8,64	11,00
	6,56	8,35	8,86	11,28

Fonte: Autoria própria, 2021.

No figura 12, é possível observar a curva de crescimento das resistências em relação ao prazo de ruptura.

Figura 12. Gráfico de média dos rompimentos – Relação Resistência x Idade em dias



Fonte: Autoria própria, 2021.

5. CONCLUSÃO

Quando a pesquisa foi iniciada, foi constatado o quão prejudicial é a produção de cimento Portland, quão grande é o consumo do concreto nas construções e o quanto é elevada a geração de resíduos sólidos na construção civil. Diante disso, como forma de minimizar tais impactos e tornar o concreto um material mais econômico e sustentável, o estudo trouxe uma proposta de substituição parcial do cimento Portland por um resíduo siderúrgico, a escória de alto-forno.

O traço de FCK 25 Mpa e *slump* de 160 mm +/- 2 mm foi o traço escolhido para teste por ser o mais usado na construção civil devido a sua trabalhabilidade permitir bom acabamento. Durante processo de produção do concreto observou-se que, devido à quantidade de água que cada traço absorveu para atingir consistência desejada, a relação água/cimento sofreu variação, trazendo significativa perda de resistência, já que em 30% de substituição esta relação a/c quase dobrou de percentual.

Visualmente, o concreto em estado fresco e endurecido tem maior absorção de água, foi possível perceber que as amostras contavam com mini poros, ou seja, vazios na sua mistura, que comprometeram também a resistência final. Endurecido, apresentou mínima retração, tal comportamento assemelhou-se com o concreto usual, sem adições.

Portanto, de acordo com as observações feitas após moldagem, tempo de cura e rompimento no laboratório da Concretemais, confirma-se que o concreto com substituição parcial do cimento por escória de alto forno em 10%, 20% e 30% não é viável; No entanto, o custo-benefício da sua utilização traz uma visão do quão bom pode ser para os envolvidos estudarem novas metodologias para melhorar a resistência e desempenho final deste concreto.

Devido a escória de alto forno possuir características desconhecidas, conclui-se que é necessário ter uma pesquisa mais ampla e profunda das suas características, granulometria e capacidade de absorção de água, por exemplo. Fazer a substituição parcial com valores abaixo de 10% também pode ser ainda uma solução eficaz para o resultado da viabilidade do seu uso, já que o custo pode ser, ainda assim, um fator importante.

Devido ao fator água/cimento ter se modificado no decorrer da mistura dos traços e o aparecimento de mini poros no concreto com escória, é recomendável também que o material, seja peneirado até que sua granulometria seja corrigida e atinja a mesma granulometria do cimento, podendo assim possuir menor índice de vazios e trazer resistências mais satisfatórias. Por este mesmo motivo, como dica para futuros estudiosos, recomenda-se fazer o mesmo traço e teor de substituição com um concreto de menor consistência, *slump* de 100mm ou 12mm, a fim de diminuir a quantidade de água na mistura, ajustando esse fator água/cimento.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto** - Requisitos, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 7211: **Agregado para concreto – Especificação**, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**, Rio de Janeiro, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**, Rio de Janeiro, 1998.

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, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 5738: **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 5739: **Concreto - ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2018.

ADITIBRAS. **Plastificante Polifuncional**, 2021. Disponível em: <<https://aditibras.com.br/wp-content/uploads/2021/01/FT-POLI-BR-REV00.pdf>>. Acesso em 24 mai. 2021.

COSTA, Karen. **Influência da basicidade da escoria de alto forno como adição ao concreto**. – Rede Temática em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2011.

DIAS, Alyson; AMANCIO, Felipe. **Efeitos da substituição do cimento Portland por escória de aciaria BSSF nas propriedades físicas e mecânicas do concreto**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Estruturas e Construção Civil - PEC/UFC, Universidade Federal do Ceará, Ceará 2020.

ISAIA, G. E., et al., **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, IBRACON, 2007

JHON, V. M., **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais Propriedades e Materiais**, IBRACON 2008 IBRACON, 2008.

NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J., **Propriedades do concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonesi, 5ª ed., Porto Alegre, Bookman, 2013.

NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J., **Propriedades do concreto**, 2ª ed., São Paulo, Pini, 1997.

SOARES, Juliana. **Escória granulada de fundição utilizada como substituição ao cimento em concretos: Avaliação de propriedades relacionadas á durabilidade.** Porto Alegre, nov. 2003.

7. ANEXOS

ANEXO A – PROPRIEDADES DA AREIA MÉDIA NATURAL



RELATÓRIO DE ENSAIO DE AREIA

DATA DO ENSAIO: 14/08/2019

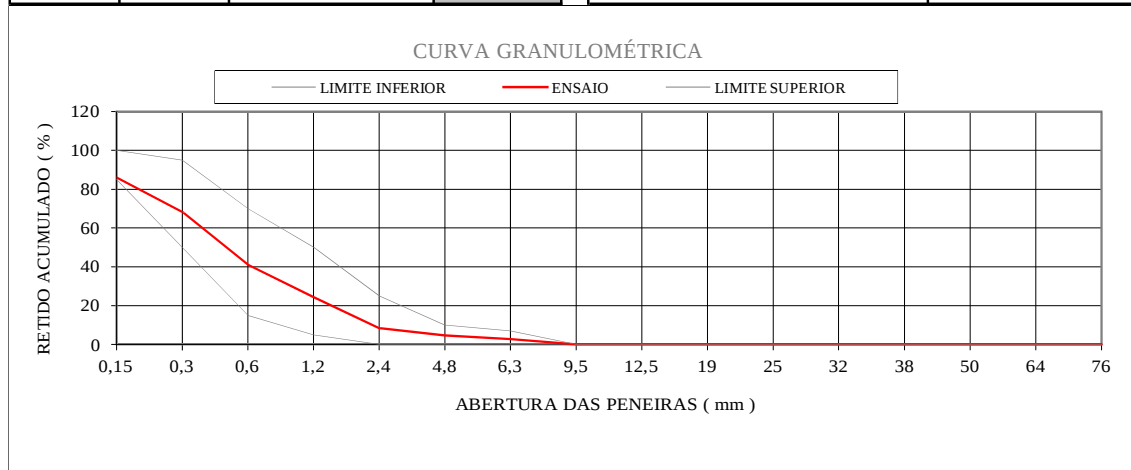
RESPONSÁVEL PELO ENSAIO: Felipe Neri

MATERIAL: Areia Natural Média

FORNECEDOR: Paraíso

IDENTIFICAÇÃO: Concretmax / Concretmais

GRANULOMETRIA				ENSAIOS	
PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM		DESCRIÇÃO	RESULTADOS
		RETIDA	ACUMUL.		
76				MASSA UNITÁRIA NBR NM 45	1,355 kg/dm ³
64				MASSA ESPECÍFICA NBR NM 52	2,674 kg/dm ³
50				TEOR DE ARGILA NBR 7218	
38				MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	%
32				ABSORÇÃO NBR NM 52	
25				IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	< 300 ppm
19				MÓDULO DE FINURA NBR NM 248	2,327
12,5				DIÂMETRO MÁXIMO NBR NM 248	4,8 mm
9,5				COEFICIENTE DE VAZIOS	49,32 %
6,3	15,0	2,8 %	2,80 %	-	
4,8	10,0	1,9 %	4,67 %		
2,4	20,0	3,7 %	8,41 %		
1,2	85,0	15,9 %	24,30 %		
0,6	90,0	16,8 %	41,12 %		
0,3	145,0	27,1 %	68,22 %		
0,15	95,0	17,8 %	85,98 %		
FUNDO	75,0	14,0 %	100%		
TOTAL	535	100 %			



Eng. Everson Medeiros
Representante Comercial - ADITIBRAS
Aditivos para Concretos e Auxiliares para Construção Civil

ANEXO B – PROPRIEDADES DA AREIA ARTIFICIAL

	LABORATÓRIO DE CONCRETO	CERTIFICADO	AMOSTRA	DATA DO ENSAIO	DATADA COLETA	DATARECBTO
	ENSAIO DE AGREGADO	2	2	06-dez-19	06/dez/19	06/dez/19
INTERESSADO						
Marcilio						
AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL		ROCHA	FORNECEDOR / PROCEDÊNCIA		CENTRAL	
Pó de Pedra		GNAISS	JKS		CONCRETMAIS	

GRANULOMETRIA (NBR NM 248)						
Limites para Agregado Miúdo Zona Ótima						
PENEIRAS		PESO		PORCENTAGEM		
Nº	ABERTURA (mm)	RETIDO (g)		(%)		
		(g)	(g)	RETIDA	PASSANTE	ACUMUL.
3	76				100,0	
2/1/2	(64)				100,0	
2	(50)				100,0	
1 1/2	38				100,0	
1 1/4	(32)				100,0	
1	(25)				100,0	
3/4	19				100,0	
1/2	(12,5)				100,0	
3/8	9,5				100,0	
1/4	(6,3)				100,0	
4	4,8	15		3,7	96,3	3,7
8	2,4	73		17,8	78,5	21,5
16	1,2	74		18,1	60,4	39,6
30	0,6	68		16,6	43,8	56,2
50	0,3	78		19,1	24,7	75,3
100	0,15	51,5		12,6	12,1	87,9
200	(0,075)	32,5		7,9	4,2	95,8
FUNDO		17		4,2	0,0	100,0
SOMA		409		100		284,2

FORMA [R / S] (HGRS MM)	0,1 / 0,7	GRADUAÇÃO MÉDIA [2,20 <= MF <= 2,90]
MÓDULO DE FINURA (NBR NM 248)	2,842	
DIMENSÃO MÁXIMA (NBR NM 248)	4,8 mm	AGREGADO MIÚDO
MASSA ESPECÍFICA (NBR NM 52)	2,66 kg/dm³	
MASSA UNITÁRIA SECA (NBR-7251)	kg/dm³	
MASSA UNITÁRIA ÚMIDA (NBR-7251)	kg/dm³	
UMIDADE DO MATERIAL	%	
MAT. PULVERULENTO (NBR NM 46)	%	> 10% [ACIMA DO LIMITE]
IMPUREZAS ORGÂNICAS (NBR NM 49)	ppm	
TORRÕES DE ARGILA (NBR-7218)	%	>3% [ACIMA DO LIMITE]
ABSORÇÃO (NBR-9777)	%	ACIMA DO LIMITE !! [>1,5%]

OBSERVAÇÕES:		
#N/D	Operador: Fábio Augustin	
Supervisor:	Eng° Responsável: FÁBIO AURELIO AUGUSTIN	

Pó de pedra JKS

ANEXO C – PROPRIEDADES DA BRITA 0



RELATÓRIO DE ENSAIO DE AREIA

DATA DO ENSAIO: 14/08/2019

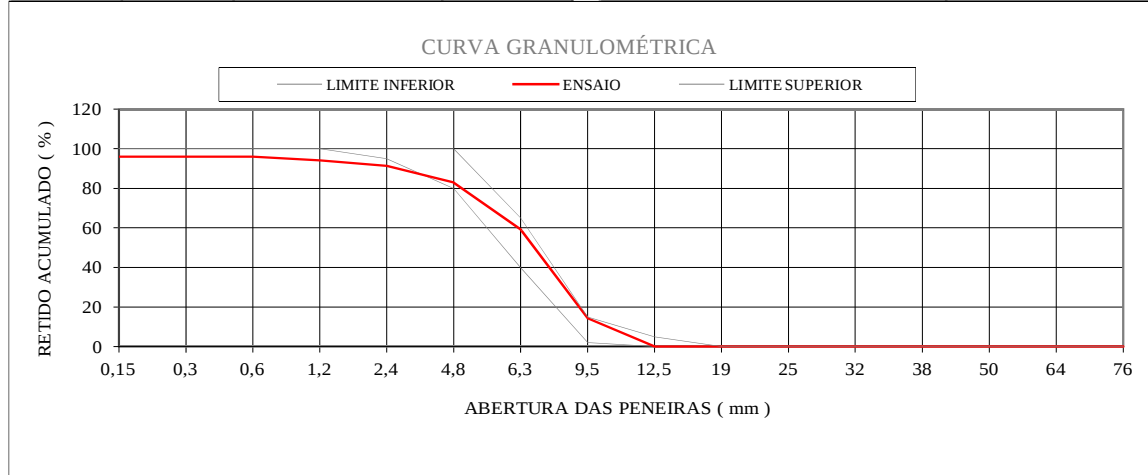
RESPONSÁVEL PELO ENSAIO: Felipe Neri

MATERIAL: Brita 0

FORNECEDOR: Onix

IDENTIFICAÇÃO: Concretmax / Concretmais

GRANULOMETRIA				ENSAIOS	
PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM		DESCRIÇÃO	RESULTADOS
		RETIDA	ACUMUL.		
76				MASSA UNITÁRIA NBR NM 45	1,512 kg/dm ³
64				MASSA ESPECÍFICA NBR NM 52	2,674 kg/dm ³
50				TEOR DE ARGILA NBR 7218	
38				MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	%
32				ABSORÇÃO NBR NM 52	
25				IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	ppm
19				MÓDULO DE FINURA NBR NM 248	5,704
12,5				DIÂMETRO MÁXIMO NBR NM 248	9,5 mm
9,5	60	14,2 %	14,22 %	COEFICIENTE DE VAZIOS -	43,45 %
6,3	190,0	45,0 %	59,24 %		
4,8	100,0	23,7 %	82,94 %		
2,4	35,0	8,3 %	91,23 %		
1,2	12,0	2,8 %	94,08 %		
0,6	8,0	1,9 %	95,97 %		
0,3		-	95,97 %		
0,15		-	95,97 %		
FUNDO	17,0	4,0 %	100%		
TOTAL	422	100 %			



Eng. Everson Medeiros
Representante Comercial - ADITIBRAS
Aditivos para Concretos e Auxiliares para Construção Civil

ANEXO D – PROPRIEDADES DA BRITA 1



RELATÓRIO DE ENSAIO DE AREIA

DATA DO ENSAIO: 14/08/2019

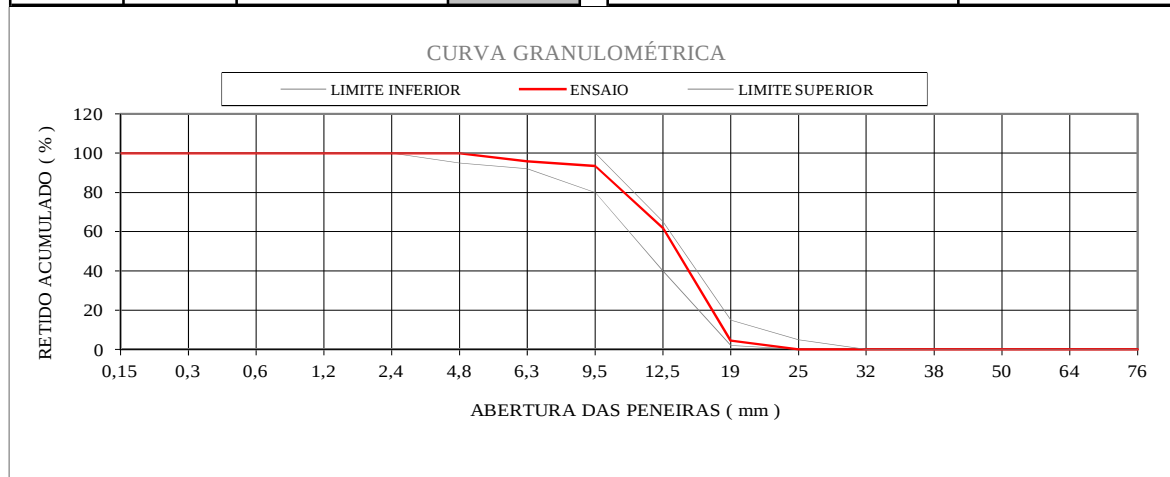
RESPONSÁVEL PELO ENSAIO: Felipe Neri

MATERIAL: Brita 1

FORNECEDOR: Onix

IDENTIFICAÇÃO: Concretmax / Concretmais

GRANULOMETRIA				ENSAIOS	
PENEIRA (mm)	PESO RETIDO	PORCENTAGEM		DESCRIÇÃO	RESULTADOS
		RETIDA	ACUMUL.		
76				MASSA UNITÁRIA NBR NM 45	1,482 kg/dm ³
64				MASSA ESPECÍFICA NBR NM 52	2,660 kg/dm ³
50				TEOR DE ARGILA NBR 7218	
38				MATERIAIS PULVERULENTOS NBR NM 46	%
32				ABSORÇÃO NBR NM 52	
25				IMPUREZAS ORGÂNICAS NBR NM 49	ppm
19	22	4,4 %	4,44 %	MÓDULO DE FINURA NBR NM 248	6,966
12,5	285	57,5 %	61,90 %	DIÂMETRO MÁXIMO NBR NM 248	19,0 mm
9,5	156	31,5 %	93,35 %	COEFICIENTE DE VAZIOS	44,28 %
6,3	12,0	2,4 %	95,77 %	-	
4,8	20,0	4,0 %	99,80 %		
2,4		-	99,80 %		
1,2		-	99,80 %		
0,6		-	99,80 %		
0,3		-	99,80 %		
0,15		-	99,80 %		
FUNDO	1,0	0,2 %	100%		
TOTAL	496	100 %			



Eng. Everson Medeiros
Representante Comercial - ADITIBRAS
Aditivos para Concretos e Auxiliares para Construção Civil

ANEXO E – ESPECIFICAÇÕES DO ADITIVO POLI – BR

POLI-BR

Plastificante polifuncional para concreto com areia artificial - Redutor de água tipo 1

ADITIBRAS

Função:

POLI-BR é uma linha de aditivos plastificantes de caráter polifuncional. São produtos desenvolvidos para viabilizar o uso de areia artificial em todos os tipos de concreto. POLI-BR representa uma solução segura para ampliar o uso da areia artificial, que é um material abundante e cada vez mais acessível em todas as regiões do Brasil.

POLI-BR age no concreto reduzindo a tensão superficial da água, melhorando assim a molhabilidade e a dispersão das partículas de cimento. Possui tecnologia mitigadora dos efeitos adversos provocados por argilas oriundas do processo de britagem das rochas. Além disso, POLI-BR possui em sua formulação moléculas que destravam os grãos lamelares da areia artificial e minimizam a absorção de água, promovendo a redução da água de amassamento, conferindo excelente plasticidade, manutenção da trabalhabilidade e ganho de resistência ao concreto.

São compatíveis com a maioria dos tipos de cimento Portland disponíveis no mercado. São produtos líquidos, prontos para uso e isentos de cloretos. Atendem aos requisitos da norma ABNT NBR 11768:2019 e possui aditivos do tipo RA1 e RA1-R.

Benefícios:

- Ideal para concretos dosados em central / Redução da água de mistura.
- Redução da relação água/ligante total¹.
- Concretos com maior plasticidade e manutenção prolongada.
- Aumenta a coesão, diminui a segregação, melhora o bombeamento e lançamento.
- Melhora o adensamento e o acabamento do concreto / Aumento das resistências finais.
- Redução dos picos térmicos, redução da retração e consequente fissuração.
- Redução da permeabilidade e aumento da durabilidade.
- Redução de custos e do tempo de produção e aplicação do concreto.

¹Ligante total compreende cimento Portland e adições minerais definidos na ABNT NBR 12655, que são considerados no cálculo da dosagem do aditivo.

Dosagem / Aplicação:

A dosagem recomendada para os aditivos da linha POLI-BR é de 300 a 1000ml a cada 100kg de ligante total. POLI-BR deve ser adicionado diretamente no concreto após a mistura inicial dos componentes (inclusive a água), ou adicionado à parcela final da água de amassamento. Nunca o adicionar sobre os materiais secos.

Recomenda-se a execução de ensaios prévios em laboratório para a determinação da dosagem ideal. POLI-BR pode ser utilizado juntamente com outras linhas de aditivos da ADITIBRAS, desde que seja recomendado pelo departamento técnico da empresa e os aditivos sejam adicionados separadamente ao concreto.

Produtos da Linha ²	Indicações Técnicas	Tipo ³	Propriedades		
			Aspecto Cor	pH	Massa Específica
POLI-BR 40	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPIII que apresentem pega normal a lenta, e/ou concretagem em regiões de baixa temperatura.	RA1	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,070 ± 0,020 g/cm ³
POLI-BR 60	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPV que apresentem tempo de pega rápida, e/ou concretagem em regiões de clima quente.	RA1-R	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,080 ± 0,020 g/cm ³
POLI-BR 80	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPV que apresentem tempo de pega rápida, e/ou concretagem em regiões de clima quente.	RA1-R	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,090 ± 0,020 g/cm ³

Tabela continua na próxima página.

POLI-BR

Plastificante polifuncional para concreto com areia artificial - Redutor de água tipo 1

ADITI BRAS

Produtos da Linha ²	Indicações Técnicas	Tipo ³	Propriedades		
			Aspecto Cor	pH	Massa Específica
POLI-BR 903	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPV que apresentem tempo de pega rápida, e/ou concretagem em regiões de clima mais quente. Ideal para uso de areias artificiais que estejam apresentando granulometria mais fina.	RA1-R	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,180 ± 0,020 g/cm³
POLI-BR 910	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPV que apresentem tempo de pega rápida, e/ou concretagem em regiões de clima quente. Promove um maior corte de água e melhor manutenção da trabalhabilidade.	RA1-R	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,185 ± 0,020 g/cm³
POLI-BR 920	É recomendado para concretos fabricados com todos os tipos de cimentos, em especial os do tipo CPII ou CPIII que apresentem pega normal a lenta, e/ou concretagem em regiões de baixa temperatura. Promove um maior corte de água e melhor manutenção da trabalhabilidade.	RA1	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,130 ± 0,020 g/cm³
POLI-BR 930	Indicado para concretos fabricados com cimentos de pega rápida, como o CPV. Promove um maior corte de água e melhor manutenção da trabalhabilidade.	RA1-R	Líquido Castanho Escuro	7,5 ± 1,0	1,100 ± 0,020 g/cm³

² Consulte a área técnica da empresa para conhecer os demais produtos da linha POLI-BR.

³ Conforme designado pela norma ABNT NBR 11768:2019.

Embalagem / Estocagem / Validade:

Os aditivos da linha POLI-BR são fornecidos a granel, em bombonas plásticas ou tambores de 200L. Devem ser estocados em suas embalagens originais e intactas em local protegido do sol, ventilado e seco. Seu prazo de validade é de 06 meses a partir da data de sua fabricação.

Recomendações de Segurança:

Ao manusear os aditivos da linha POLI-BR deve-se utilizar equipamentos de proteção individual (EPI's): luvas, óculos de segurança, máscara e avental. Não ingerir o produto. Evitar o contato com os olhos e a pele. Procurar um médico em caso de sintomas de irritação ao produto. Antes de utilizar este produto, recomenda-se consultar a sua FISPQ.

ANEXO F – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA PRENSA



SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO REGIONAL DE MINAS GERAIS
CENTRO DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA SENAI
Av. José Cândido da Silveira, 2000 – Bairro Horto Florestal
31035-536 Belo Horizonte – MG – Brasil www.fiemg.com.br

Instituto SENAI de Tecnologia
Metalmecânica (ISTMM)

Tels.: (31)3489-2228 / 3489-2027, Fax: (31)3489-2226
e-mail: ist-metalmecanica@fiemg.com.br

Certificado de Calibração Nº 1179301

Folha: 1 / 3

LABORATÓRIO ISAAC NEWTON

REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO (RBC)
LABORATÓRIO ACREDITADO PELA CGCRE



Cliente: CONCRETMAX CONCRETO LTDA

Endereço: Rua Armando Fajardo, 4052, Cruzeiro Celeste 35931-073 João Monlevade-MG, Brasil

Contato: Rafael de Souza Fonseca

Guia de Atendimento de Serviços (GAS) Nº: ISTMM-2021-367

Objeto: PRENSA HIDRÁULICA
marca: SOLOTEST
série: 9254
capacidade: 100 tf

Natureza do trabalho: calibração a COMPRESSÃO segundo ABNT NBR ISO 7500-1:2016 e Procedimento Técnico CIT SENAI FIEMG PT 1101 (V6.0)

Data da calibração: 24.05.2021

**JONATHAN LOPES DE
SOUZA:10746638612**

Assinado de forma digital por JONATHAN
LOPES DE SOUZA:10746638612
Dados: 2021.05.31 09:12:08 -03'00'

Jonathan Lopes de Souza
Técnico em Eletrônica e em Mecânica Industrial, CRT/MG 107.466.386-12
Responsável Substituto pelo Laboratório

*Os resultados apresentados referem-se exclusivamente ao instrumento descrito como Objeto
O CIT SENAI FIEMG autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral*

Certificado de Calibração Nº 1179301

Folha: 2 / 3

1 Escala: 100 tf

1.1 Sentido de calibração: COMPRESSÃO

1.2 Sistema de medição e indicação de forças

Objeto: transdutor de pressão
tipo: hidráulico
marca: Gefran

Indicador: display digital
faixa nominal: 5 dígitos
valor de uma divisão: 1 dígito
resolução: 0,01 tf

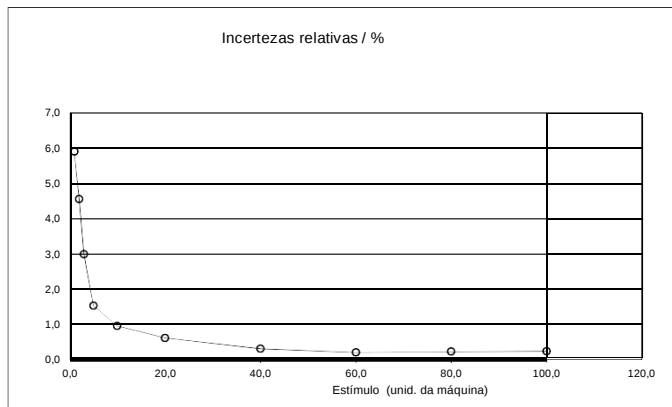
1.3 Temperatura ambiente / °C: 29,2 ± 7,9

1.4 Resultados

1.4.1 Medições

Valor fixo na máquina tf	kN	Leituras no padrão / kN			Média / kN	Res. relativa %	Erro indic. / %	Erro repetib. / %
		X1	X2	X3				
1,00	9,8	24,4	29,8	23,0	26	1,000	-61,42	69,34
2,00	19,6	33,4	36,8	32,2	34	0,500	-42,36	23,45
3,00	29,4	42,6	44,6	41,4	43	0,333	-31,30	10,88
5,00	49,0	61,6	62,4	60,4	61	0,200	-20,21	4,08
10,00	98,1	109,6	109,4	107,8	109	0,100	-9,97	1,84
20,00	196,1	204,4	203,2	202,2	203	0,050	-3,51	1,12
40,00	392,3	391,6	390,6	389,6	391	0,025	0,43	0,51
60,00	588,4	581,6	580,2	579,8	581	0,017	1,36	0,31
80,00	784,5	771,2	769,4	768,4	770	0,013	1,93	0,36
100,00	980,7	961,6	959,2	958,0	960	0,010	2,20	0,37

1.4.2 Diagrama das incertezas e suas influências



1.4.3 Incertezas e classificação

V. fixo na máquina / tf	Veff	k	U %	Classe
1,0	∞	2	5,9	ND
2,0	∞	2	4,5	ND
3,0	∞	2	3,0	ND
5,0	∞	2	1,5	ND
10,0	∞	2	1,0	ND
20,0	∞	2	0,6	ND
40,0	∞	2	0,3	ND
60,0	∞	2	0,2	3
80,0	∞	2	0,2	3
100,0	∞	2	0,2	3

Laboratório de Calibração acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Número CAL 0045



Certificado de Calibração Nº 1179301

Folha: 3 / 3

1 Equipamentos utilizados na calibração

Id. ISTMM	Certificado	Data. cal.	Prox. cal.	Tipo	Órgão cal.	Classe	Rastreabilidade
303.00	1163341	jan/21	jan/23	célula de carga	CIT SENAI FIEMG	0,5	INMETRO

2 Condições operacionais

2.1 Operação: Jonathan Lopes de Souza (CIT SENAI FIEMG)

2.2 Local da calibração: Laboratório - Rodovia dos Estudantes, Vila Cachoeirinha, Manhuaçu, MG

3 Observações

3.1 A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência $k = 2$, o qual para uma distribuição t com $\nu_{\text{eff}} = \infty$ graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

3.2 A incerteza padrão combinada de medição foi realizada considerando-se os seguintes componentes: padrão (inclui deriva), resolução, erros de repetibilidade, de zero e de indicação (quando aplicável).

3.3 Siglas empregadas neste certificado: NA: não-aplicável; ND: não-detectado.

3.4 Este Certificado atende aos requisitos de acreditação da CGCRE, que avaliou a competência do laboratório segundo os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 e comprovou sua rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI). A rastreabilidade metrológica das calibrações relatadas é demonstrada pela Capacidade de Medição e Calibração (CMC) do escopo da acreditação, disponível no site do INMETRO – Área: Força, Torque e Dureza. Portanto, é dispensável o envio de cópia de certificado de calibração de padrões utilizados.

3.5 A classificação da máquina de ensaios obedece aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 7500-1:2016, itens 6.4.5 e 7. A incerteza expandida de calibração não é utilizada como requisito para a classificação.

4 Fatores de conversão adotados nas situações aplicáveis

Unidade	P/ converter em N, multiplicar por	Unidade	P/ converter em N, multiplicar por
kN	1000	Mp	9806,65
dyn	0,00001	ozf	0,2780139
kgf	9,80665	lbf	4,448222
kp	9,80665	kip	4448,222
tf	9806,65	tf (av)	8896,443

Laboratório de Calibração acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Número CAL 0045

