

III-696 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM PÓ DE FERRO

Rocheli Carnaval Cavalcanti⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina e Doutora pela Universidade Católica Dom Bosco.

Mariel Guerreiro da Fonseca Martins⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Desenvolvimento Local pela Universidade Católica Dom Bosco. MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas.

Willian de Araújo Rosa⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Luis Eduardo Ferronato⁽⁴⁾

Acadêmico do curso de engenharia civil na Universidade Católica Dom Bosco, MS.

Henrique Gimene de Souza⁽⁵⁾

Acadêmico do curso de engenharia civil na Universidade Católica Dom Bosco, MS .

Endereço⁽¹⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 98416-5002 - e-mail: rf6535@ucdb.br

Endereço⁽²⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 99980-7307 - e-mail: rf4747@ucdb.br

Endereço⁽³⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 99983-9884 - e-mail: rf5510@ucdb.br

Endereço⁽⁴⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 Tel: (67) 99892-1274 - e-mail: luis.ferronato@outlook.com

Endereço⁽⁵⁾: Av. Tamandaré, 6000 - Jardim Seminário - Campo Grande – MS- CEP: 79117-900 – Tel: (67) 99866-8930 - e-mail: henriquegimenede_souza@hotmail.com

RESUMO

É percebido o avanço das tecnologias para os materiais utilizados na construção civil, inclusive o concreto é um desses materiais, que vem sendo estudado e aprimorado há anos. O presente trabalho leva isso em consideração, e foi desenvolvido com o intuito de analisar as características do concreto feito com a utilização do pó de ferro junto com a areia como agregado miúdo, para isto foi feito corpos de prova com alguns traços diferentes para a análise da trabalhabilidade em estado fresco e das resistências até 30 dias, com os resultados obtidos foi percebido algumas dificuldades na utilização do pó de ferro, pois o mesmo deixa o concreto com uma trabalhabilidade inviável de utilizar, tendo que recorrer a uma maior quantia de água ou aditivos, para dar continuidade no trabalho foi optado por utilizar uma maior quantia de água. Os resultados obtidos apontam que o concreto convencional apresenta resistências superiores o que torna o uso do pó de ferro no concreto não aconselhável.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto com pó de ferro. Resistências do concreto. Trabalhabilidade do concreto.

INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais usados no mundo, grande parte das estruturas atuais são construídas utilizando o concreto, e por este motivo o concreto vem sendo minuciosamente estudado ao redor do mundo todo.

Na atualidade, diversos estudos e ensaios são conduzidos utilizando materiais, granulometrias e traços diferentes, para a confecção de novos tipos de concretos, e isso tem o intuito de analisar o comportamento do concreto com proporções e materiais alternativos, e então, assim buscar obter um material que atenda determinados objetivos e produzir cada vez mais literatura sobre esse material tão usado no ramo da construção civil.

Durante o decorrer da história, é visto um grande avanço tecnológico na produção do concreto, avanço tanto em qualidade do material, como também de um ponto de vista econômico e financeiro, o que tem tornado o concreto cada vez mais atrativo e o consolidando como a melhor alternativa na maioria das vezes para as obras da construção civil.

Com a adição de alguns materiais no concreto, pode ser visto uma alteração nas suas propriedades mecânicas, ou seja, é visto uma certa alteração na resistência a compressão, na resistência a tração, na trabalhabilidade em seu estado fresco, entre outras características.

Tendo em vista novos materiais sendo utilizados justamente para melhorar as propriedades mecânicas, o intuito do seguinte trabalho é analisar os benefícios que o pó de ferro pode trazer ao concreto, através de ensaios, e então tirar conclusões sobre as propriedades mecânicas.

O uso do concreto com o pó de ferro pode se tornar viável em determinadas funções, podendo ter resistências a tração e compressão diferentes do concreto comum, sendo uma alternativa que precisa ser estudada.

Existe uma barreira para introdução de novas tecnologias ao concreto, tendo em vista a qualidade já obtida e o sucesso do uso do mesmo, o que dificulta a entrada de novas tecnologias ao mercado, para Belkowitz (2019) à medida que o concreto endurece as tecnologias cessam, é defendido que a tecnologia atenda às necessidades de quem vai utilizar o concreto.

As empresas do setor devem ser manter atualizadas e investir no estudo de novas tecnologias para se manterem atualizadas e fazer o uso de novas tecnologias e os benefícios que a mesma poderá gerar ao setor da construção civil e ao meio ambiente.

No atual cenário mundial as pessoas estão cada vez mais preocupadas com o meio ambiente e com a sustentabilidade, com isso o desenvolvimento do concreto com pó de ferro pode disponibilizar melhorias ao concreto e ao meio ambiente, tendo em vista que o pó de ferro pode ser um material sustentável por ser obtido através da moagem de ferros que seriam descartados no meio ambiente.

Não há dúvidas quanto aos benefícios que a implantação de novas tecnologias pode trazer ao concreto e a sustentabilidade. Existem vários estudos relacionados a este tema e com o estudo realizado será apresentado os benefícios da adição do pó de ferro ao concreto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dessa pesquisa foi utilizado corpos de provas de concreto, que foram feitos com a utilização de pó de ferro em conjunto com a areia como agregado miúdo, os corpos de prova foram confeccionados na concreteira Pontual de Sidrolândia em Mato Grosso do Sul.

Os ensaios dos agregados como também os ensaios de compressão, tração e flexão dos corpos de provas de concreto foi realizado no laboratório de materiais de construção da Universidade Católica Dom Bosco em Campo Grande em Mato Grosso do Sul.

Os materiais que foram utilizados para fazer os corpos de prova são os agregados, o cimento e a água, também foi utilizado alguns equipamentos para auxiliar na mistura do concreto, e auxiliar no rompimento dos corpos de provas.

Para a elaboração dos corpos de prova, foi utilizado o Cimento Portland da marca Nacional, Geral CP II-E 32 RS, esse Cimento Portland possui a adição de escória granulada de alto-forno, e está de acordo com a NBR 11578/1991, esse cimento é um cimento comercializado comumente e utilizado em diversas obras. Para fazer

a reação química com esse cimento, foi utilizada água proveniente da rede de distribuição de água potável da cidade de Sidrolândia no Mato Grosso do Sul.

Foram utilizados dois tipos distintos de agregados miúdos, sendo estes a areia e o pó de ferro. O pó de ferro utilizado foi comprado na loja Zoaço, um fornecedor de ferro e aço em Campo Grande/MS. Este pó de ferro é comercializado em sacos de 20 kg, os sacos foram comprados do mesmo lote para padronizar o agregado, desta forma não possuindo variações entre o material ensaiado e o material utilizado para a confecção do concreto.

Para o agregado graúdo foi utilizado brita 1 retirado da baía da concreteira pontual em Sidrolândia MS. Essa brita é proveniente da pedra Polimix em Campo Grande MS.

Para a confecção dos corpos de provas, foi utilizado uma betoneira para rodar os traços propostos no trabalho, e então o concreto no estado fresco foi colocado nos moldes, que possuem diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, e são de acordo com a ABNT NBR 5738/1994.

PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO

Foram realizados ensaios com os materiais que seriam utilizados na confecção dos traços de concreto, com o intuito de se obter as características fundamentais para o estudo do concreto.

Foi realizado o ensaio de composição granulométrica dos agregados, para se obter o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado, esses ensaios foram feitos de acordo com a ABNT NBR 7217/2003.

O módulo de finura é calculado pela soma das percentagens cumulativas mantidas nas peneiras e dividindo a soma por 100. A Dimensão Máxima Característica é a grandeza que corresponde à abertura da malha da peneira, na qual o agregado apresenta uma percentagem retida acumulada, em massa, igual ou inferior a 5%.

Também foi realizado o ensaio de massa específica de acordo com a ABNT NBR 9776/2003, para o pó de ferro e para a areia, nesse procedimento é utilizado o frasco de Chapman. O ensaio para a determinação da massa unitária do agregado graúdo em estado compactado foi realizado de acordo com a NBR NM 45/ 2021.

Foram feitos doze corpos de prova cilíndricos para cada traço, sendo um traço de concreto convencional, com o traço 1:2:3, de respectivamente, cimento, areia e brita 1, e três traços diferentes de concreto com pó de ferro, sendo esses: 1:1:1:3, 1:2:1:3, 1:1:2:3, de respectivamente, cimento, pó de ferro, areia e brita 1. Todos os traços foram feitos com o fator água cimento de 0,5.

Também foram feitos corpos de provas prismáticos para o ensaio a flexão, apenas quatro corpos de provas, uma prova e uma contraprova, para o concreto convencional (1:2:3) e uma prova e uma contraprova para um traço com pó de ferro (1:1:1:3) ambos também sendo realizados com o fator água cimento de 0,5.

Para o dimensionamento das vigas, foram utilizadas as dimensões máximas comportadas pela prensa utilizada, portanto será considerado um vão de 0,5 metros. Por conseguinte, a base da viga (b_w) apresentará 15 cm, assim como a altura (h) que também será de 15 cm.

Os corpos de provas foram curados de acordo com a NBR 5738/1994, sendo mantidos na câmara úmida, dessa maneira mantendo a umidade necessária para a cura ideal, os corpos de prova foram retirados três dias antes dos rompimentos.

Foram rompidos quatro corpos de provas cilíndricos a cada rompimento, sendo uma prova e uma contraprova por compressão axial e uma prova e uma contraprova por compressão diametral. Os rompimentos foram feitos com nove dias, vinte e um dias e com trinta dias.

O ensaio por compressão diametral foi realizado para obter a resistência à tração de forma indireta, segundo a ABNT NBR 7222/2011.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Com o intuito de obter os dados fundamentais para o resultado do concreto, foi dividido os materiais em duas categorias diferentes, para então realizar os ensaios requeridos, sendo o ensaio com o agregado graúdo que é a brita, e também o ensaio com os agregados miúdos, sendo estes a areia e o pó de ferro.

Foram realizados três ensaios com o agregado graúdo, sendo o primeiro ensaio o de composição granulométrica. Neste ensaio foi utilizado uma amostra de 1000 gramas para realizar o ensaio de peneiras, utilizando a brita selecionada para fazer o concreto. Os resultados obtidos foram expressos no Quadro 1.

Quadro 1 - Ensaio de peneiras do agregado graúdo

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	(%) Retida	(%) Retida acumulada
25	0	0	0
19	226,84	22,684	22,684
9,5	768,23	76,823	99,507
4,8	2,96	0,296	99,803
2,4	0	0	99,803
1,2	0,05	0,005	99,808
0,6	0,08	0,008	99,816
0,3	0,05	0,005	99,821
0,15	0,09	0,009	99,83
Fundo	1,56	0,156	99,986

Foi mostrado que a dimensão máxima característica do material é de 19mm, e possui um módulo de finura de 7,21. De acordo com os dados obtidos foi percebido que a brita utilizada no ensaio consiste em uma brita 1, aproximando-se de uma brita 2.

O segundo ensaio realizado foi para adquirir-se a massa específica do agregado graúdo utilizado, para isso foi pesado duas amostras de brita e foi pesado a proveta com a água, depois foi retirado parte da água e acrescentado uma amostra, e por fim foi colocado água novamente até a marca inicial e então calculado a diferença. Os resultados foram de acordo com o Quadro 2.

Quadro2 - Massa específica do agregado graúdo

	Amostra 1	Amostra 2
Massa da amostra (g)	499,6	501,63
Massa da Proveta + água (g)	1234	1236,5
Massa da Proveta + água + amostra (g)	1560,6	1561,8
Massa específica do agregado (g/dm ³)	2,8878	2,8448

A média dos dois resultados é uma massa específica de 2,8663 kg/dm³

O terceiro ensaio realizado foi para obter-se a massa unitária do agregado em estado compactado, os resultados obtidos estão expressos no Quadro 3.

Quadro 1 - Massa unitária compactada do agregado graúdo

	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio
Massa do recipiente (Kg)	2,422	2,422	2,422
Massa do recipiente + amostra (Kg)	7,2693	7,422	7,3809
Massa da amostra (Kg)	4,8473	4,8397	4,9589
Volume do recipiente (dm ³)	3	3	3
Massa unitária compactada (Kg/dm ³)	1,616	1,61	1,65

O valor médio dos resultados obtidos é o de 1,63 kg/dm³, isso é um valor esperado, visto que a massa unitária em estado compactado dos agregados graúdos que são comumente usados em concreto varia aproximadamente entre os valores de 1300 a 1750 kg/m³.

O primeiro ensaio realizado com a areia foi o ensaio das peneiras, este ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7217/2021, começando com a peneira de 4,75mm, até a peneira de 0,15mm.

Os resultados obtidos nesse ensaio foram de acordo com o quadro 4, e foi notado que a areia utilizada é uma areia fina. A areia que geralmente é recomendada para o concreto é areia grossa, no entanto na região de Campo Grande a areia mais comum de ser encontrada é a areia fina.

Quadro 2 - Resultado da composição granulométrica da areia

Peneiras ABNT (mm)	Massa retida (g) Ensaio 1	Massa retida (g) Ensaio 2	% Retida média	% Retida média acumulada
4,75	0	0	0	0
2,36	0,12	0,12	0,04	0,04
1,18	0,22	0,39	0,1	0,14
0,6	0,46	0,67	0,19	0,33
0,3	70,03	72,4	23,74	24,07
0,15	195,05	199,22	65,71	89,78
Fundo	33,03	26,79	10,10	99,78

Esses resultados nos mostram que a dimensão máxima característica dessa areia é a de 0,3mm, e seu módulo de finura é de 1,14.

Os resultados obtidos nos ensaios de massa específica da areia, de acordo com a ABNT NBR 9776/2003 estão expressos no Quadro 5.

Quadro 3 - Massa específica da areia

	Ensaio 1	Ensaio 2
Massa de areia seca (g)	500	500
Leitura inicial (cm ³)	200	200
Leitura Final (cm ³)	390	388
Massa específica (kg/dm ³)	2,63	2,66

A média dos resultados é de 2,645 kg/dm³.

Para o pó de ferro foi utilizado os mesmos ensaios que a areia. O primeiro ensaio realizado foi com as peneiras tendo o resultado de acordo com o Quadro 6.

Quadro 4 - Resultado da composição granulométrica do pó de ferro

Peneiras ABNT (mm)	Massa retida (g) Ensaio 1	Massa retida (g) Ensaio 2	% Retida média	% Retida média acumulada
4,75	0	0	0	0
2,36	0,42	0,71	0,19	0,19
1,18	8,83	8,96	2,97	3,16
0,6	63,95	52,93	19,48	22,64
0,3	129,9	150,70	46,77	69,41
0,15	53,83	36,55	15,06	84,47
fundo	39,27	47,86	14,52	98,99

Esses resultados nos mostram que a dimensão máxima característica do pó de ferro utilizado é de 0,6mm, e seu módulo de finura é de 1,79.

Foi realizado o ensaio para obter a massa específica do pó de ferro utilizando o frasco de Chapman. Nesse experimento foi tentado utilizar 500g de amostra assim como procedido com a areia, mas pelo fato de o pó de ferro possuir uma densidade muito superior à da areia, quando foi colocado 500g ainda não era possível ler o

resultado, por isso foi utilizado 800g, sendo assim possível ler o menisco do frasco. O ensaio foi realizado duas vezes, para se ter uma maior precisão, os resultados obtidos foram expressos no Quadro 7.

Quadro 5 - Massa específica do pó de ferro

	Ensaio 1	Ensaio 2
Massa de areia seca (g)	800	800
Leitura inicial (cm³)	200	200
Leitura Final (cm³)	387	385
Massa específica (kg/dm³)	4,278	4,324

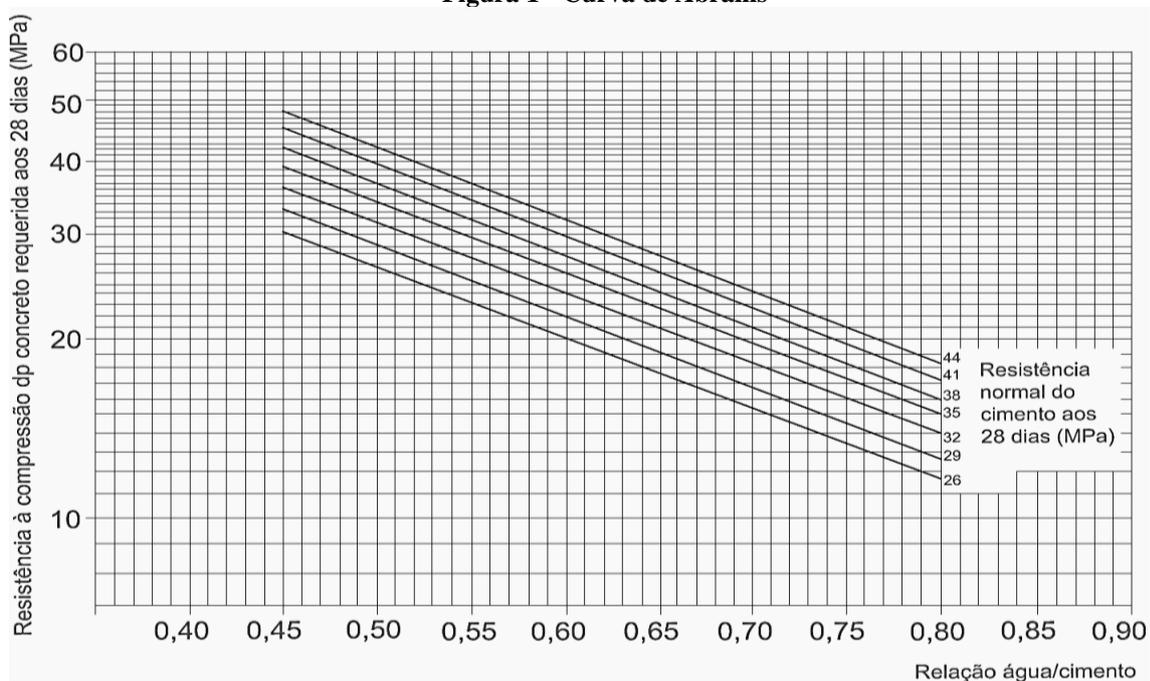
A média dos resultados é de 4,306 kg/dm³, o que mostra que o material utilizado certamente não é pó de ferro puro, e provavelmente contém a adição de algum outro material desconhecido com uma densidade menor, visto que o ferro possui uma massa específica por volta de 7,87 kg/dm³.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Durante a produção do primeiro traço de concreto com pó de ferro (1:1:1:3), foi notado uma trabalhabilidade muito baixa, sendo um concreto inviável para se trabalhar e para moldar os corpos de prova, a ponto de os materiais não estarem se misturando na betoneira, então para evitar a desagregação dos materiais, o recurso utilizado para superar esta dificuldade na trabalhabilidade foi aumentar o fator água cimento, foi optado por acrescentar mais água e aumentar a relação água cimento, para 0,85.

Esse valor foi padronizado para todos os traços, mesmo tendo a ciência da consequência de que o concreto teria uma queda drástica em sua resistência, visto que com uma maior quantidade de água o concreto perde resistência, já que a relação água cimento é inversamente proporcional a resistência do concreto. Foi analisado a curva de Abrams para analisar a resistência à compressão esperada aos 28 dias, logo a resistência esperada para o concreto é de aproximadamente 12 MPa, uma resistência baixa e não recomendada para fins estruturais (Figura 1).

Figura 1 - Curva de Abrams



Durante a execução do traço com a maior quantidade de pó de ferro (1:2:1:3), foi notado que mesmo utilizando muita água o concreto ainda estava inviável de se trabalhar, então foi adicionado uma maior quantidade de água, aumentando a relação água cimento para 1,1, um valor muito alto.

Os outros traços, exceto o convencional, mesmo apresentando uma relação água cimento alta, apresentaram um *slump* relativamente baixo. Os resultados dos testes de abatimento de cone de cada traço foram de acordo como expresso no Quadro 8.

Quadro 6 - Slump dos traços

Traço utilizado	Slump (cm)
1:1:1:3:0,85	7±1
1:1:2:3:0,85	8±1
1:2:1:3:1,1	14±1
Convencional (1:2:3:0,85)	13±1
Respectivamente, cimento, pó de ferro, areia, brita e água.	

Foi percebido que o concreto convencional mesmo utilizando a mesma quantia de água que os traços 1:1:1:3:0,85 e 1:1:2:3:0,85, apresentou um *slump* muito maior, isso devido ao pó de ferro que afeta de forma considerável a trabalhabilidade do concreto.

O fato de a trabalhabilidade do concreto com o pó de ferro ser menor, provavelmente deve-se ao fato do pó de ferro ser um material mais pesado, e também por possuir uma granulometria com menor espaço poroso. Também durante a confecção dos traços, um dos motivos em que foi percebido a dificuldade em tornar os traços com pó de ferro homogêneos, é provavelmente ao fato da densidade do pó de ferro ser elevado, fazendo com que o material tenha a tendência de se assentar no fundo da betoneira.

Os corpos de prova foram pesados antes de romper, com o intuito de analisar o peso de cada um, visto que foi notado diferença de peso entre os corpos de prova e o peso próprio do concreto é algo fundamental nas estruturas.

Os corpos de prova possuem um volume de 1570,8 cm³, e o peso médio de cada traço está de acordo com o Quadro 9.

Quadro 7 - Peso dos corpos de prova

Traço	Peso médio (Kg)
1:2:3:0,85	3,58
1:1:2:3:0,85	3,75
1:1:1:3:0,85	3,96
1:2:1:3:1,1	4,10
Respectivamente, cimento, pó de ferro, areia, brita e água.	

Foi visto um aumento significativo no peso do concreto, do traço convencional para o traço com a maior quantia de pó de ferro é percebido um aumento de 14,5% entre a média dos resultados, isso é devido a maior densidade do pó de ferro em comparação com os outros materiais usados.

Os ensaios para a compressão do concreto foram realizados de acordo com a norma técnica, utilizando a prensa hidráulica da Universidade Católica Dom Bosco, e então foi aplicado a força em uma das faces para então obter-se os resultados dessa resistência. Os corpos de prova foram submetidos a uma determinada força até o rompimento do mesmo, utilizando a força necessária para o rompimento e dividindo pela área de contato onde a força é aplicada, o resultado é expresso em unidade de pressão, que estão demonstrados no Quadro 10.

Quadro 8 - Resistências à compressão

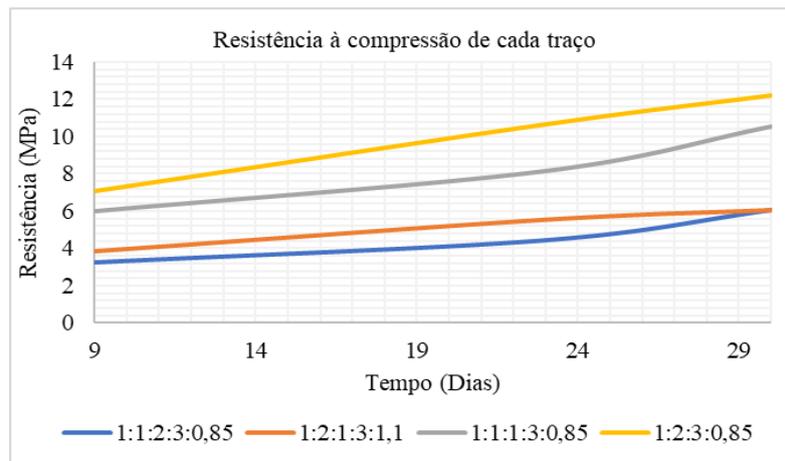
Traço	Resistência média em 9 dias (MPa)	Resistência média em 23 dias (MPa)	Resistência média em 30 dias (MPa)
1:1:2:3:0,85	3,70	4,67	5,95
1:2:1:3:1,1	3,82	5,79	6,07
1:1:1:3:0,85	6,26	9,04	11,2
1:2:3:0,85	6,97	11,46	12,34

Respectivamente, cimento, pó de ferro, areia, brita e água.

Os traços 1:1:2:3:0,85 e 1:2:1:3:1,1 ficaram com uma menor resistência, isso devido a uma maior proporção de agregado miúdo em comparação com o cimento, possuindo três partes de agregado miúdo para cada porção de cimento (1:3:3), já os traços 1:1:1:3:0,85 e 1:2:3:0,85 chegaram ao valor esperado, por possuírem uma porção adequada de agregado miúdo em comparação com o cimento.

É possível analisar a diferença entre as resistências à compressão verificando o Gráfico 1

Gráfico 1 - Comparação das resistências à compressão



Foi notado que o traço com o pó de ferro 1:1:1:3:0,85 possui uma resistência a compressão 9,24% menor em comparação com o traço convencional 1:2:3:0,85. Era esperado um aumento, mesmo que pequeno, na resistência para à compressão nos concretos confeccionados com o pó de ferro, o que não foi atendido, um dos possíveis fatores que influenciaram nesse aspecto pode ter sido responsável pelo fato do pó de ferro não ser um material puro, podendo apresentar materiais que podem ter influenciado negativamente na resistência a compressão. Outro fator importante é a quantia de água utilizada para fazer o concreto, por ter sido um volume alto, e apresentar uma resistência baixa, isso pode ter mascarado resultados mais exatos.

Os ensaios para a tração do concreto foram realizados através do rompimento por compressão diametral, os rompimentos foram feitos de acordo com a NBR 7222/2011. Os resultados das resistências para a tração obtidos nos rompimentos estão demonstrados no Quadro 11, tendo o resultado em também em unidade de pressão.

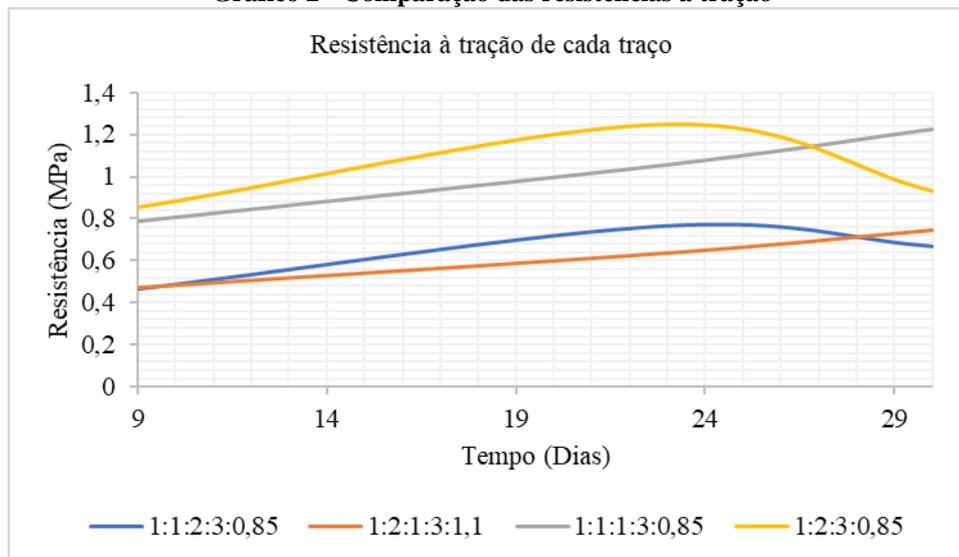
Quadro 9 - Resistências à tração

Traço	Resistência média em 9 dias (MPa)	Resistência média em 23 dias (MPa)	Resistência média em 30 dias (MPa)
1:1:2:3:0,85	0,47	0,64	0,75
1:2:1:3:1,1	0,47	0,77	0,67
1:1:1:3:0,85	0,79	1,05	1,22
1:2:3:0,85	0,85	1,25	0,93

Respectivamente, cimento, pó de ferro, areia, brita e água.

Foi analisado que assim como nos rompimentos a compressão os traços 1:1:2:3:0,85 e 1:2:1:3:1,1 ficaram com uma resistência inferior também devido a proporção de agregados miúdos em comparação com o cimento. Outro fato interessante é que as médias dos traços 1:2:1:3:1,1 e 1:2:3:0,85 apresentaram uma queda de 23 para 30 dias, como pode ser visto no Gráfico 2, acredita-se que esse fato ocorreu pela integridade dos corpos de prova, que estavam com mais imperfeições e falhas.

Gráfico 2 - Comparação das resistências à tração



Mesmo observando as quedas das resistências, ainda assim é observado que o concreto convencional, aos 23 dias já apresentou uma média maior que o traço 1:1:1:3:0,85 apresentou aos 30 dias. Nos resultados do ensaio à tração era esperado um aumento considerável, para os traços feitos com pó de ferro, no entanto o traço convencional possuiu ainda assim uma resistência à tração superior, excluindo a variação que ocorreu no rompimento do último dia devido a integridade dos corpos de prova.

As prováveis causas desses resultados são atribuídas, aos mesmos fatores discutidos anteriormente, a pureza do agregado utilizado e ao alto fator água cimento.

Também foi realizado um teste para a resistência à flexão a fim de se analisar se o concreto confeccionado com o pó de ferro possui uma resistência à flexão diferente do concreto convencional. Neste ensaio foram realizados apenas os dois traços mais resistentes, sendo o convencional (1:2:3:0,85) e o traço (1:1:1:3:0,85). Para esse ensaio foram utilizados dois corpos de prova para cada traço, sendo uma prova e uma contraprova que foram rompidos aos 30 dias, os resultados obtidos estão expressos no Quadro 12.

Quadro 12 - Força aplicada para rompimento à flexão

	Força aplicada para romper - Ensaio 1 (kN)	Força aplicada para romper - Ensaio 2 (kN)	Força aplicada para romper - Média (kN)
1:2:3:0,85	28	27,5	27,75
1:1:1:3:0,85	23,7	31,7	27,7

Analisando a média dos resultados obtidos, verifica-se que não houve muita diferença entre os resultados, pois ambos os resultados são muito próximos. Concluindo que o pó de ferro não possui grande interferência na resistência à flexão.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos é visto que o pó de ferro não é um material viável para se utilizar nos traços de concreto propostos, pois além de possuir um custo maior e conseqüentemente encarecer sua composição, ele apresenta uma trabalhabilidade muito inferior ao concreto convencional, tendo que recorrer a uma maior quantia de água, no presente trabalho não foi testado o uso de aditivos para aumentar a trabalhabilidade, o que poderia suprir este problema.

Outro fator importante de se levar em conta é o pó de ferro utilizado, por este ser um material que apresenta impurezas, ele pode apresentar algum material desconhecido, que pode ter influenciado negativamente nos resultados obtidos.

Apesar de os resultados obtidos mostrarem que o pó de ferro não trouxe ganho para as resistências, este trabalho traz informações para um tema ainda pouco estudado e expõem todas as dificuldades encontradas para elaborar o mesmo de maneira clara, sendo assim o estudo pode ser aprimorado e utilizado para a confecção de novas pesquisas, tendo em vista que o concreto é o segundo material mais consumido no mundo e o avanço tecnológico dele está em constante evolução.

De forma geral, conclui-se que os resultados obtidos através do estudo não atingiram a expectativa principal, onde se esperava um ganho nas resistências em comparação ao traço convencional utilizado. Apesar do desempenho negativo apresentado, é indispensável mais estudos e pesquisas sobre o concreto com o pó de ferro com intuito de melhorar as resistências, a trabalhabilidade e sanar dúvidas quanto à sua utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 2002. 28 f. 7ª Ed. São Paulo, 2002.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: Concreto — Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7222: Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: Concreto — Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8953: Concreto para fins estruturais. Rio de Janeiro, 2015.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 35: Agregados leves para concreto estrutural – Especificação. Rio de Janeiro, 1995.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1995.
11. CARDOSO, Samuel. Curva de Abrams; passei direto, 2020. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/86802276/curva-abrams>. Acesso em 04 de novembro de 2022.
12. FURLANETTO, Pedro. O que é e para que serve o slump test? Disponível em: <https://neoipsum.com.br/slump-teste/>. Acesso em: 13 de abril de 2022.
13. GUERRA, Ruy S. de Teixeira. Conclusões de Abrams (dosagem do concreto). Clube do concreto, 2017. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2017/06/2-conclusoes-de-abrams-dosagem-do.html>. Acesso em: 03 de abril de 2022.
14. GUERRA, Ruy S. de Teixeira. Método de Dosagem da ABCP. Clube do concreto, 2015. Disponível em: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>. Acesso em: 03 de abril de 2022.
15. HELENE, Paulo. ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: Ibracon, 2007. V2, Cap. 27, p. 906 -913.
16. MENEGHEL, Ricardo. Concreto Armado – O que é? Uso e Composição. Carluc, 2020. Disponível em: <https://carluc.com.br/materiais-de-construcao/concreto-armado/>. Acesso em: 22 de abril de 2022.
17. PEREIRA, Caio. O que é Slump do concreto e como fazer o teste?. Escola Engenharia, 2019. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/slump-test/>. Acesso em: 13 de abril de 2022.
18. VIJAY, K; MURMU, M. (2018) Effect of Calcium Lactate on Compressive Strength and Self-Healing of Cracks in Microbial Concrete, 1-11.