



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

GIOVANA MACHADO CLOVANDI
ISABELLE VALENÇA DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO
PORTLAND PELA CINZA DE CASCA DE ARROZ E DIÓXIDO DE TITÂNIO NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS DE ARGAMASSA**

BRASÍLIA

2022



GIOVANA MACHADO CLOVANDI
ISABELLE VALENÇA DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO
PORTLAND PELA CINZA DE CASCA DE ARROZ E DIÓXIDO DE TITÂNIO NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS DE ARGAMASSA**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

Orientação: Dra. Maria José de Souza Serafim

BRASÍLIA

2022

AGRADECIMENTOS

Agradecemos: à Professora Doutora Maria José de Souza Serafim, pelo comprometimento e ajuda prestada ao longo desse projeto

À equipe do LABOCIEN, em especial a técnica Elismere, pela assistência e apoio durante o prosseguimento dos estudos.

À Laísa Souza Figueira pelo auxílio e contribuição durante os ensaios e procedimentos da pesquisa.

RESUMO

A casca de arroz é um material encontrado com grande facilidade no Brasil, mas não é encontrada uma utilidade para esse resíduo. Dessa forma, atuais estudos aliam o uso da Cinza de Casca de Arroz (CCA) com o preparo de argamassas e concretos, em razão das suas propriedades pozolânicas. O dióxido de Titânio (TiO_2) também é um material encontrado com facilidade e de baixo custo, ele é encontrado em diferentes formas cristalinas e não é um material tóxico. Neste trabalho substituiu-se parcialmente o cimento por Cinza de Casca de Arroz nas porcentagens de 4%, 9% e 15% e foi adicionado o dióxido de titânio em duas formas cristalinas, Anatase e Rutilo, ambas com substituição do material cimentício com uma porcentagem de 5%. Os corpos de prova de argamassa foram ensaiados para análise resistência, à compressão e tração por compressão diametral com idades de 7, 14, 28 e 42 dias e, também, foram realizados os ensaios de absorção de água, massas específicas, índices de vazios com os corpos de prova com 42 dias de idade. Em relação a resistência a compressão foi observado melhor resultado nos Corpos de prova com substituição de 4% de CCA (em todas as idades), em ambas as formas cristalinas do TiO_2 , os resultados da resistência foram iguais ou superiores aos corpos de prova de referência. Quanto a resistência à tração por compressão diametral o melhor resultado foi com 9% de CCA (em todas as idades) tanto na forma cristalina rutilo quanto na anatase. Foram observadas algumas diferenças de resultado nas formas cristalinas rutilo e anatase, pois a anatase apresentou melhores resultados em relação à Resistência a compressão e o rutilo melhores resultados a tração por compressão diametral. Ambas as formas cristalinas e as diferentes porcentagens de CCA obtiveram resultados satisfatórios quanto à índice de vazios, massa específica e absorção de água.

Palavras-chave: Cinza de Casca de Arroz; Dióxido de titânio; argamassas

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

CCA – Cinza de Casca de Arroz

TiO₂ - Dióxido de titânio

CP's – Corpos de prova

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média das resistências à compressão com seus referentes teores e idades – CCA + anatase.....	2
Tabela 2: Média das resistências à compressão com seus referentes teores e idades – CCA + rutilo	3
Tabela 3: Média das resistências à tração com seus referentes teores e idades – CCA + anatase.....	5
Tabela 4: Média das resistências à tração com seus referentes teores e idades – CCA + rutilo	6
Tabela 5: Média dos coeficientes de absorção com seus referentes teores – CCA + anatase	6
Tabela 6: Média dos coeficientes de absorção com seus referentes teores – CCA + rutilo.....	7
Tabela 7: Coeficientes resultantes do ensaio de índice de vazios - CCA + Anatase	9
Tabela 8: Coeficientes resultantes do ensaio de índice de vazios - CCA + Rutilo	10
Tabela 9 - Resultado ensaio de perda ao fogo	11

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultados da resistência a compressão – CCA + anatase	2
Gráfico 2: Resultados da resistência a compressão – CCA + rutilo.....	3
Gráfico 3: Resultados da resistência à tração – CCA + anatase	4
Gráfico 4: Resultados da resistência à tração – CCA + rutilo.....	5
Gráfico 5: Resultados dos coeficientes de absorção – CCA + anatase	6
Gráfico 6: Resultados dos coeficientes de absorção – CCA + rutilo.....	7
Gráfico 7: Coeficientes de absorção e índice de vazios com seus diferentes teores - CCA +Anatase.....	8
Gráfico 8: Coeficientes de massa específica seca, saturada e real, respectivamente com seus diferentes teores - CCA + anatase	8
Gráfico 9: Coeficientes de absorção e índice de vazios com seus diferentes teores - CCA + rutilo.....	9
Gráfico 10: Coeficientes de massa específica seca, saturada e real, respectivamente com seus diferentes teores - CCA + rutilo	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: ensaio de absorção por capilaridade.....	8
Figura 2: corpos de prova em banho maria	9
Figura 3: corpos de prova desenformados.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 4: casca de arroz no forno mufla.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5: corpo de prova rompido à compressão.....	2
Figura 6: corpo de prova rompido à tração por compressão diametral.	4

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
3	MÉTODO	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS (OU CONCLUSÕES)	26
	REFERÊNCIAS	28
	APÊNDICES	31

1. INTRODUÇÃO

O Cimento é o material de construção mais utilizado no mundo, perdendo apenas para a água. Como consequência de sua produção, há diversos impactos ambientais, especialmente, durante a obtenção do clínquer, processo no qual o gás carbônico é o principal gás liberado durante a queima de matérias-primas moídas, além da extração de recursos naturais e aumento do consumo de energia global (FERNANDES et al., 2018). Outrossim, é nítido que o cenário cimentício tende a crescer expressivamente, decorrente do aumento no número de obras, o que levará à uma emissão de gases poluentes ainda maior. Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de procedimentos que mitiguem os impactos no ecossistema mundial, para que, a qualidade de vida da população possa ser estendida (BONATO, 2014).

Conforme Bonelli (2022), uma das formas de minimizar os índices de poluição e degradação ambiental, seria reaproveitar os resíduos de outros processos. Nesse contexto, surge a conveniência de utilizar a Casca de Arroz, na forma de cinzas, substituindo parcialmente o cimento na fabricação de argamassas. O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores de arroz, segundo o Brazilian Rice, alcançando no ano de 2021 um recorde em produtividade na safra. Todavia, após a retirada da casca (cerca de 20% do peso do grão), todo esse material é descartado, normalmente de forma indevida, podendo ser por vezes utilizado como fonte de energia devido ao seu alto poder calorífico e, contudo, em seguida, também é rejeitado (POUEY, 2006).

Inúmeros estudos apontam a eficácia da introdução desse elemento na composição das argamassas. Devido ao seu elevado teor de sílica, há um aumento considerável nos valores de resistência dos corpos de prova, principalmente em idades mais avançadas, além de uma diminuição expressiva nos índices de vazios bem como os de absorção, não alterando, assim, as propriedades particulares do cimento. Ademais, por ser um resíduo de baixo valor de mercado, o traço torna-se mais acessível, no que tange aos preços (MOHSENI et al, 2016; NATARAJAN et al. ,2022; BHEEL et al., 2019).

Além disso, o uso de materiais cimentícios suplementares, como o dióxido de titânio (TiO_2), aliado a CCA possui muitos benefícios para o desempenho da argamassa, tendo em vista que essa adição permite uma elevada compatibilidade com outras adições minerais (ESSAWY,

ALLEN, 2013). Dessarte, por ser um material de baixo custo (SHAABAN, 2020) e por estimular o aumento da resistência e diminuir a porosidade, o dióxido de titânio tornou-se alvo e motivo de discussões entre os pesquisadores que buscam alternativas mais sustentáveis para a fabricação de cimento, utilizando ambas as fases anatase e rutilo para o desenvolvimento dessas pesquisas (SHULZ, 2020; FERNANDES, 2017).

Considerando a importância das propriedades da CCA e do TiO_2 , bem como o impacto positivo de seu uso para o meio ambiente, este projeto de pesquisa teve como propósito analisar o desempenho desses elementos substituídos parcialmente no cimento, examinando as mudanças nas propriedades físicas e mecânicas. Para realizar o objetivo referido anteriormente, foram fabricados corpos de prova de referência e com as substituições em teores predefinidos, sobre os quais se submeteram os ensaios descritos na norma, e, em seguida, os resultados foram avaliados.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Características e disponibilidade da CA no Brasil

A casca de arroz é definida como um resíduo da produção de arroz no Brasil. Atualmente, ela vem sendo utilizada como fonte de energia, devido ao seu alto poder calorífico, todavia, na maior parte dos casos, é descartada, geralmente, de forma inadequada e em locais inapropriados. Após a sua queima de forma controlada, ela se torna um pó cinza com elevados teores de sílica, alcançando valores de 90 a 95%, que no cimento é utilizado na forma de pozolana. Esse método de manipulação é feito quando a sílica é moída finamente e, na presença de água, gera um composto com características cimentícias. Além disso, vale ressaltar que a CCA pode adquirir um aspecto escuro se queimada da maneira incorreta, em consequência da não oxidação dos carbonos fixos. Dessa forma, as impurezas inorgânicas e carbonos não são retirados do composto, conseqüentemente, quando substituída no cimento, pode ocasionar uma queda na resistência da argamassa devido a presença das impurezas resultando em um aspecto mais escurecido (POUEY, 2006; NATARAJAN et al., 2022). No entanto, pode-se realizar um teste de perda ao fogo para conhecer o teor de pureza que a substância adquiriu ao ser queimada e, dessa maneira, julgar se o uso dessa cinza é apropriado para a argamassa.

No Brasil, conforme a agência SAFRAS por meio do portal Mais Soja, estima-se que a produção de arroz seja de 11,61 milhões de toneladas para o ano comercial 2021/2022, tornando o Brasil o maior produtor de arroz fora da Ásia. Dessarte percebeu que existe uma alta disponibilidade dessa substância para a produção de cinza o que torna esse produto extremamente barato, por conseguinte, os custos de produção do material cimentício seriam reduzidos de maneira significativa, pois substituiria o clínquer que possui uma produção mais cara (BHEEL et al. ,2019; CAMILO, 2018).

2.2 Efeitos do uso da CCA no meio ambiente

Primeiramente, o uso da CCA como um substituto para o cimento, seria extremamente benéfico para o meio ambiente que vem sofrendo desgaste há muito tempo devido às ações antropogênicas relacionadas à construção civil. Diante da degradação, o ecossistema mundial começou a mostrar os resultados desses comportamentos, assim, é fulcral que decisões sejam tomadas em favor da sustentabilidade (FERNANDES, 2017). Consoante Thais Bonelli (2022), o reaproveitamento de resíduos é ótima alternativa para minimizar impactos ambientais. Dessa maneira, a substituição parcial do cimento por CCA, um resíduo pouco usado, ajudaria a mitigar as emissões de gases poluentes, especialmente o CO₂, derivado da produção do clínquer. Além disso, vale salientar que o descarte indevido da cinza leva à emissão de metano e óxido nitroso, gases que prejudicam a atmosfera da Terra, à vista disso, o reaproveitamento dessa substância evitaria que esses gases fossem lançados na natureza. Em suma, conforme Camilo (2018) e Masanja (2022) a CCA seria responsável por reduzir os índices de poluentes no ar, acarretado uma melhora na qualidade da atmosfera.

2.3 Efeitos da CCA nas propriedades de argamassas

Além dos benefícios ambientais, a CCA também dispõe de vantagens no que tange as propriedades físicas. Estudos como o de Fernandes (2018), de Natarajan (2022) e de Ludwig (2014) mostraram que o uso da cinza proporcionou às amostras um aumento considerável nas resistências, no entanto, esse crescimento se tornou mais perceptível apenas em idades mais avançadas, fato ocorrido devido à reatividade da pozolana ser mais lenta. Ademais, os autores salientaram que a CCA não alterou as demais propriedades e características da

argamassa nas idades mais recentes, ou seja, até 28 dias de cura, assim, a substância poderia ser utilizada como um substituto parcial ao cimento sem que houvesse perdas no tocante as particularidades da argamassa que poderiam impossibilitar tal modificação.

Outrossim, a Cinza de Casca de Arroz também diminui a absorção de água nas argamassas, bem como o índice de vazios. Esse fato se deve ao tamanho das partículas da substância que por ser extremamente fina consegue atingir os vazios presentes na argamassa. Consequentemente, a absorção de água torna-se limitada impedindo que futuramente a argamassa manifeste quaisquer patologias referentes à essa propriedade física. Além disso, ensaios realizados recentemente demonstraram que os índices de absorção e de vazios são reduzidos significativamente conforme o aumento dos teores de CCA e do tempo de cura. Em síntese, o uso parcial da Cinza de casca de arroz nas argamassas apresenta inúmeras vantagens em algumas propriedades importantes desse material tão comumente usado no campo da Engenharia Civil (SILVA, 2019; MOHSENI et al., 2016).

2.4 Características e disponibilidade do TiO_2

O aparecimento natural dos óxidos pode-se extraí-los para servirem como uma fonte de titânio de uso comercial. O metal também pode ser extraído de outros minerais, como ilmenita, minérios leucoxênicos, ou uma das formas mais puras, “areia de praia” de rutilo. Safiras e rubis têm seu asterismo, a partir das impurezas presentes, do rutilo. O dióxido de titânio é encontrado como um mineral em bordas desgastadas de “tektites” e “perovskita” e como lamelas em anatase, em veias hidrotermais, com uma densidade relativamente baixa (COTTON et al., 1995).

O dióxido de titânio possui partículas nanométricas e propriedades fotocatalíticas, o que justifica a sua ação autolimpante. Outra característica também observada é a sua influência na resistência mecânica em argamassas e concretos.

Ele atua como excelente fotocatalisador e é eficaz para a obtenção de alguns tipos de superfícies autolimpantes, manifesta-se a hipótese de que o material possa ser introduzido no traço do concreto, com o objetivo de reduzir manchas nas fachadas. (SCHULZ, 2020)

Entre os semicondutores, o dióxido de titânio tem demonstrado ser, até o momento, o semicondutor mais adequado para o processo fotocatalítico. Processos que constituem, especialmente, despoluição de águas contaminadas com micro poluente orgânico, geração

de gás hidrogênio e sistemas antiembaçantes e autolimpantes para espelhos (COSTA, 2006 apud SCHULZ, 2020).

O TiO_2 é um material inerte as reações de hidratação dos materiais cimentícios, porém por suas partículas serem nanométricas ele atua preenchendo os poros, reduzindo a porosidade da argamassa. (EHRENBRING et al., 2022)

Não apenas a substituição de cimento por dióxido de titânio (TiO_2) pode melhorar a resistência à compressão de argamassas, como também sua adição no processo de fabricação do clínquer que apresentou resultados positivos quanto à otimização da presença de C_3S , sendo o teor ótimo de 4,5% em massa (RIBEIRO, 2021).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Material

Para todos os procedimentos realizados durante o projeto foram utilizados os seguintes materiais.

- Cimento Portland
- Cascas de Arroz
- Dióxido de titânio (TiO_2) – nas fases anatase e rutilo
- Água potável
- Areia – grossa, média grossa, média fina e fina
- Balança de precisão
- Balança hidrostática de precisão
- Misturador mecânico de argamassa
- Cronômetro
- Forno mufla
- Estufa de secagem e esterilização digital de alta precisão
- Banho maria Digital
- Paquímetro
- Retífica para corpos de prova de concreto

3.2 Metodologia

Em seguida detalha-se o procedimento adotado para os ensaios realizados.

Para todos os ensaios executados, os CP's foram confeccionados consoantes a NBR – 7215/2019 (Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos).

Inicialmente, a argamassa de referência, ou seja, sem nenhuma adição, foi preparada de acordo com as quantidades estabelecidas pela norma citada anteriormente, são elas:

<u>Material</u>	<u>Massa para mistura (g)</u>
Cimento Portland _____	624 ± 0,4
Água _____	300 ± 0,2
 <u>Areia normal</u>	
Fração grossa _____	468 ± 0,3
Fração média grossa _____	468 ± 0,3
Fração média fina _____	468 ± 0,3
Fração fina _____	468 ± 0,3

Em seguida, as argamassas com substituição por CCA e TiO₂ foram feitas. Vale destacar que os corpos de prova com o TiO₂ nas diferentes fases – anatase e rutilo – foram preparados ao mesmo tempo.

As substituições parciais propostas do cimento por CCA a 4, 9 e 15% associada ao TiO₂ em um teor fixo de 5% foram realizadas, o que modifica apenas a massa de cimento usada, visto que ambas as substituições não possuem água em suas fórmulas, assim, a relação água/cimento permaneceu inalterada e igual a 0,48.

O processo de mistura foi efetuado conforme a norma citada e descrito a seguir:

- I. Cimento + água por 30s, velocidade baixa.
- II. Início da colocação gradual das areias previamente misturadas durante 30s, velocidade baixa.
- III. Mistura dos materiais por 30s, velocidade alta.
- IV. Repouso da argamassa por 90s, sendo os 30s iniciais para retirar o acúmulo de material das laterais do misturador.

V. Mistura dos materiais por 60s, velocidade alta.

Imediatamente após a realização da argamassa, foi feita a moldagem conforme a norma citada, dispondo a massa em 4 camadas iguais, as quais cada uma recebeu 30 golpes uniformemente homogêneos com o auxílio de um soquete. Posteriormente, os corpos de prova permaneceram 24h ao ar e, depois, foram desmoldados (Figura 1) e colocados na câmara úmida em submersão em água até a efetuação dos ensaios predefinidos. Dessa forma, para todos os ensaios realizados o procedimento de moldagem dos corpos de prova foi o mesmo.

Figura 1: Corpos de prova desenformados



Fonte: Das autoras

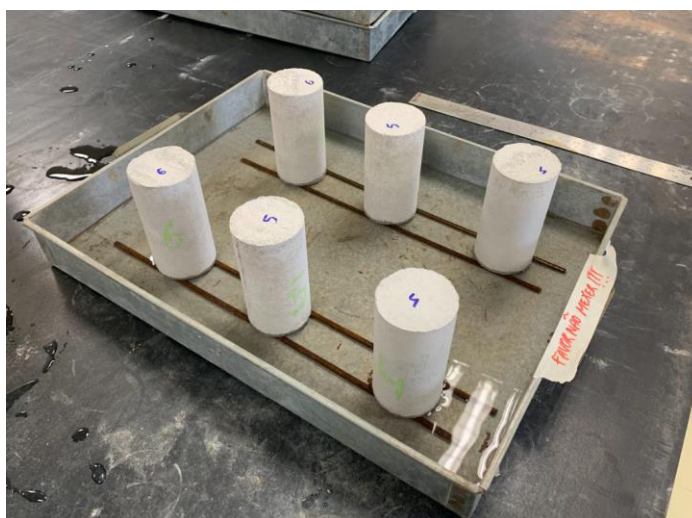
Para a execução do ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram retirados da água e retificados a fim de se obter uma superfície mais lisa e, assim, distribuir igualmente a carga sobre a amostra. Esse experimento foi realizado nas idades de 7, 14, 28 e 42 dias de cura, sendo utilizados ao todo 4 corpos de prova, dos quais foram retirados todos os dados para os cálculos estabelecidos pela NBR 7215/2019. Em seguida, as amostras foram submetidas a compressão a uma velocidade de carregamento equivalente a $(0,25 \pm 0,05)$ MPA/s.

Já para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral os procedimentos foram semelhantes ao de compressão descritos acima, todavia, a norma seguida foi a NBR 7222/2011.

Os procedimentos do ensaio de absorção de água por capilaridade (Figura 2) seguiram as diretrizes da NBR 9779/2012. Dessarte, após a retirada das amostras da cura de 42 dias, encaminharam-se para a estufa, na qual permaneceram até atingir a constância de massa

(aproximadamente 3 dias) por volta de 105°C. Posteriormente, foram levados a um suporte feitos de pequenas barras de metal, em que os corpos de prova se conservaram 5mm dentro da água sem encostar na superfície inferior por 24, 48 e 72 horas, tendo em vista que após cada período suas massas foram medidas. Ao final do ensaio, as amostras foram rompidas à compressão diametral a fim de observar e registrar a altura da ascensão capilar máxima e a distribuição interna do líquido.

Figura 2: Ensaio de absorção por capilaridade.



Fonte: Das autoras

Vale ressaltar ainda, que no início da pesquisa a CA começou sendo queimada em grande quantidade dentro das cápsulas e cadinhos, contudo, constatou-se que os resultados obtidos com esse método foram ineficazes já que o carbono fixo e impurezas presentes na casca de arroz não estavam sendo retirados. À vista disso, foi necessário mudar o procedimento para a queima da casca, colocando uma quantidade consideravelmente menor desse componente nas cápsulas e cadinhos com o intuito de obter uma cinza mais eficiente e pura no que diz respeito a porcentagem de carbonos fixos e impurezas.

A fim de analisar o comportamento da cinza e seu grau de pureza, foi realizado um ensaio de perda ao fogo de acordo com a norma NM 18:2004, dessa forma, uma pequena amostra da cinza que estava sendo utilizada foi coletada e levada à mufla até atingir 900°C, em seguida, aumentou-se de 10 em 10°C até 950°C, temperatura onde permaneceu por 50 minutos. Depois, ela foi retirada do forno a temperatura ambiente e levada ao dessecador. Assim, os resultados foram anotados e avaliados para determinar se o teor estava de acordo com a norma.

Por fim, foi executado o ensaio de determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica que cumpriu a NBR 9778/2005. Nele, os corpos de prova, após o tempo de cura de 42 dias, foram levados a estufa por 72 horas, seguidamente, as amostras permaneceram por mais 72 horas dentro de água não corrente. Finalmente, avançaram para o banho-maria (Figura 3), no qual passaram um total de 5 horas. Por último, os corpos de prova foram pesados na balança hidrostática e, depois na balança convencional, encerrando o ensaio. Ademais, vale ressaltar que todos os dados exigidos pela norma deste experimento foram coletados para fins de cálculos.

Figura 3: Corpos de prova em banho-maria



Fonte: Das autoras

Todos os dados e informações retirados dos ensaios descritos acima foram dispostos em tabelas e gráficos a fim de comparar os resultados. Além disso, os coeficientes e resistências resultantes dos experimentos também foram computados e correlacionados entre os diversos teores de CCA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente confeccionaram-se corpos de prova de referência, ou seja, sem quaisquer adições, e, em seguida, corpos de prova com os teores predeterminados de CCA e dióxido de

titânio. Os resultados e dados, bem como a memória de cálculo, completos estão nos arquivos nomeados no apêndice.

4.1 Ensaio de Resistência à Compressão

A Figura 4 mostra o corpo de prova após o rompimento do ensaio de resistência à compressão.

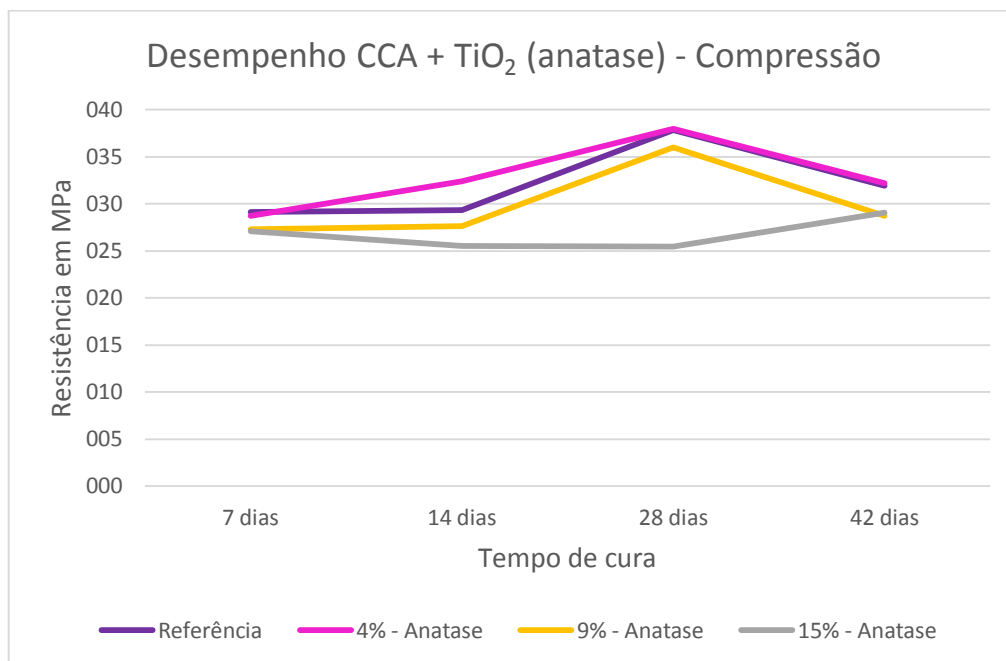
Figura 4: Corpo de prova rompido à compressão.



Fonte: Das autoras

No primeiro momento, foram feitos testes de resistência à compressão em corpos de prova com 7, 14, 28 e 42 dias, os dados referentes ao teste foram computados e apresentados a seguir no formato de tabelas e gráficos.

Gráfico 1: Resultados da resistência a compressão – CCA + Anatase



Fonte: Das autoras

Tabela 1: Média das resistências à compressão com seus referentes teores e idades – CCA + Anatase

	Referência	4% - Anatase	9% - Anatase	15% - Anatase
7 dias	29,10	28,70	27,27	27,10
14 dias	29,34	32,37	27,63	25,54
28 dias	37,83	37,98	36,01	25,47
42 dias	31,91	32,15	28,72	29,08

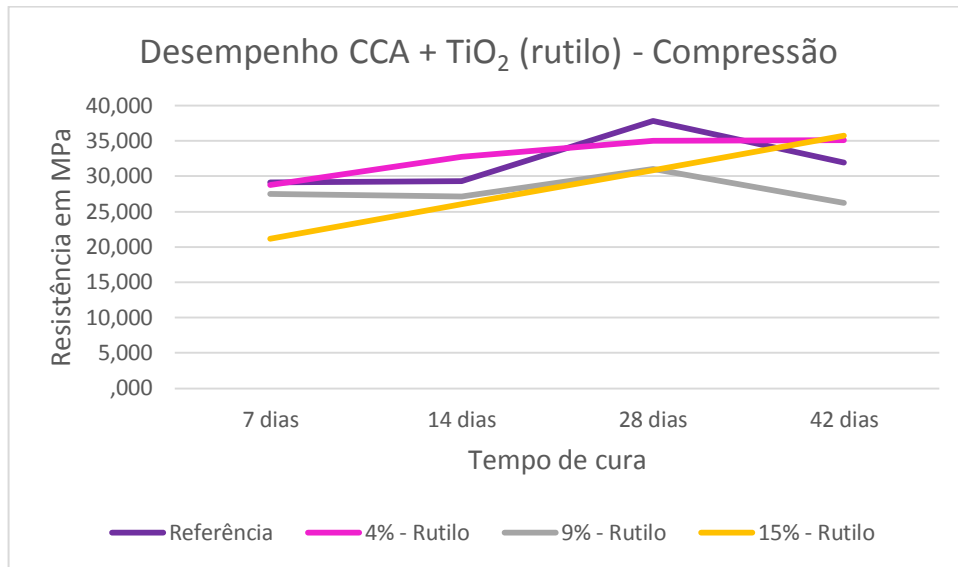
Fonte: dos autores

É possível observar através do Gráfico 1 que o teor que mais se destacou foi o de 4% que superou os valores de referência em metade das idades ensaiadas.

Aos 7 dias, como mostra a Tabela 1, o traço de referência se manteve mais resistente, todavia, o de 4% obteve um valor aproximado.

Para a idade de 14 dias, o teor de 4% apresentou grande eficácia quando comparado aos demais ensaiados, tendência que se manteve para 28 e 42 dias, ou seja, de acordo com o avanço das idades, o que ratifica a caracterização da pozolana dispor de uma reação mais lenta, atingindo melhores resultados em idades mais avançadas.

Gráfico 2: Resultados da resistência a compressão – CCA + Rutilo



Fonte: Das autoras

Tabela 2: Média das resistências à compressão com seus referentes teores e idades – CCA + Rutilo

	Referência	4% - Rutilo	9% - Rutilo	15% - Rutilo
7 dias	29,10	28,79	27,47	21,15
14 dias	29,34	32,80	27,10	26,05
28 dias	37,83	34,98	31,05	30,83
42 dias	31,91	35,13	26,26	35,79

Fonte: dos autores

Observa-se através do Gráfico 2 que o teor que mais se destacou foi o de 4% que superou os valores de referência em metade das idades ensaiadas, e manteve as resistências bem próximas dos valores de referência.

Os corpos de prova com idade de 7 dias, como mostra a Tabela 2, o traço de referência se manteve mais resistente, mas, o de 4% obteve um valor aproximado.

Para a idade de 14 dias, o teor de 4% apresentou grande eficácia quando comparado a referências, mas os demais corpos de prova também tiveram resultados próximos.

Com 28 dias de cura nenhuma das porcentagens dos corpos de foi superior ao valor de referência, mas o de 4% ficou com resultado aproximado.

Os melhores resultados se deram na idade de 42 dias as porcentagens de 4% e 15% tiveram valores de resistência superiores ao valor de referência.

4.2 Ensaio de Resistência à Compressão Diametral

A Figura 5 mostra o corpo de prova após o rompimento do ensaio de resistência à compressão diametral.

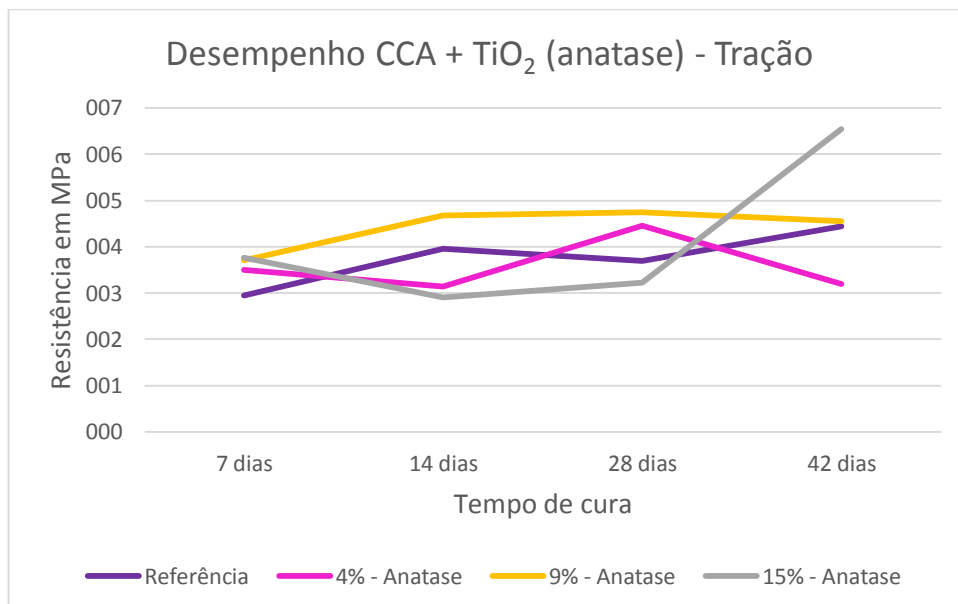
Figura 5: corpo de prova rompido à tração por compressão diametral.



Fonte: Das autoras

Em conjunto com o ensaio de Resistência à compressão (Figura 4), foram realizados testes de compressão diametral (ou tração) (Figura 5), estes também nas idades 7, 14, 28 e 42 dias, bem como computados em gráficos e tabelas.

Gráfico 3: Resultados da resistência à tração – CCA + Anatase



Fonte: Das autoras

Tabela 3: Média das resistências à tração com seus referentes teores e idades – CCA + Anatase

	Referência	4% - Anatase	9% - Anatase	15% - Anatase
7 dias	2,95	3,50	3,71	3,76
14 dias	3,96	3,14	4,67	2,91
28 dias	3,70	4,46	4,75	3,22
42 dias	4,44	3,19	4,55	6,54

Fonte: Das autoras

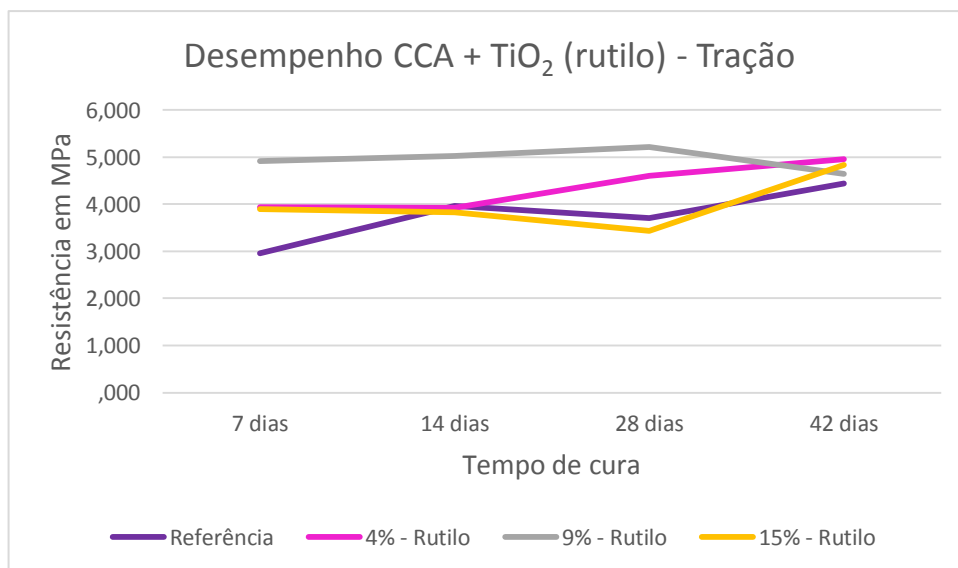
Já para o ensaio de tração, conforme o Gráfico 2, o traço que se destaca se refere ao de 9%, apesar de os teores de 4 e 15% terem superado o de referência em metade das idades.

Para 7 dias, todos os teores ensaiados permaneceram acima em comparação com os corpos de prova de referência dando ênfase ao de 15% que se mostrou o resultado mais positivo.

Aos 14 dias, como indica a Tabela 2, ressalta-se apenas a resistência respectiva a 9%, além de evidenciar uma queda de resistência para 4%. Contudo, houve um salto no valor de 4% aliado à uma evidente tendência de crescimento nos resultados do teor de 9%, para a idade de 28 dias.

Enquanto isso, aos 42 dias, sucedeu-se uma permanência da predisposição manifestada nas idades anteriores no teor de 9%, ou seja, de crescimento, bem como uma queda nos de 4%. Outrossim, nota-se uma evolução considerável relacionado ao teor de 15% excedendo todos as outras amostras ensaiadas.

Gráfico 4: Resultados da resistência à tração – CCA + Rutilo



Fonte: Das autoras

Tabela 4: Média das resistências à tração com seus referentes teores e idades – CCA + Rutilo

	Referência	4% - Rutilo	9% - Rutilo	15% - Rutilo
7 dias	2,95	3,94	4,91	3,90
14 dias	3,96	3,92	5,02	3,82
28 dias	3,70	4,60	5,21	3,43
42 dias	4,44	4,95	4,64	4,83

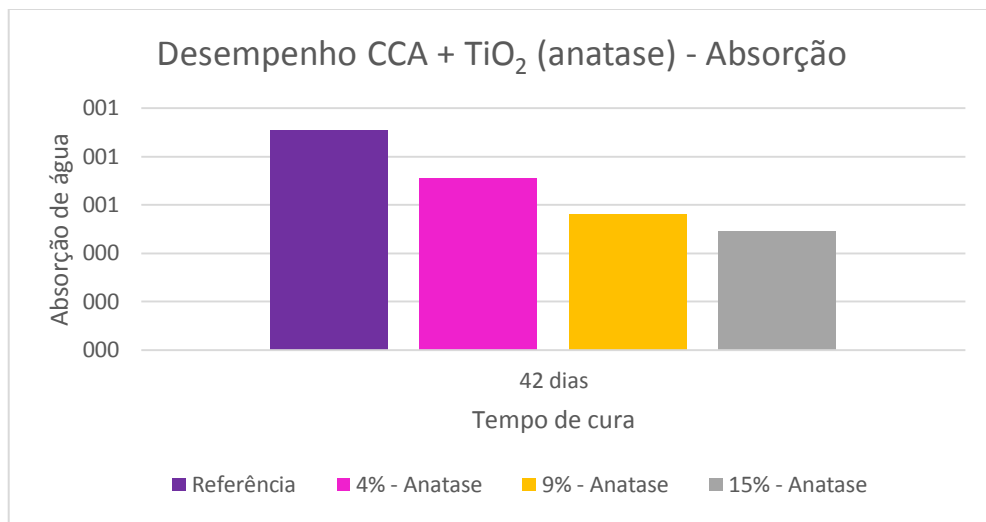
Fonte: Dass autoras

No ensaio de tração, conforme o Gráfico 4 e Tabela 4, os traços com teor de 4% foram os que apresentaram melhor resultado, mas todos os outros apresentaram resistência superior ou igual aos valores de referência, exceto os traços de 15% nas idades de 14 e 42 dias.

4.3 Ensaio de absorção por capilaridade

Após os ensaios de compressão e tração, foi preparado o teste de absorção por capilaridade os quais os resultados estão dispostos nos Gráficos 5 e 6 e Tabelas 5 e 6.

Gráfico 5: Resultados dos coeficientes de absorção – CCA + Anatase



Fonte: Das autoras

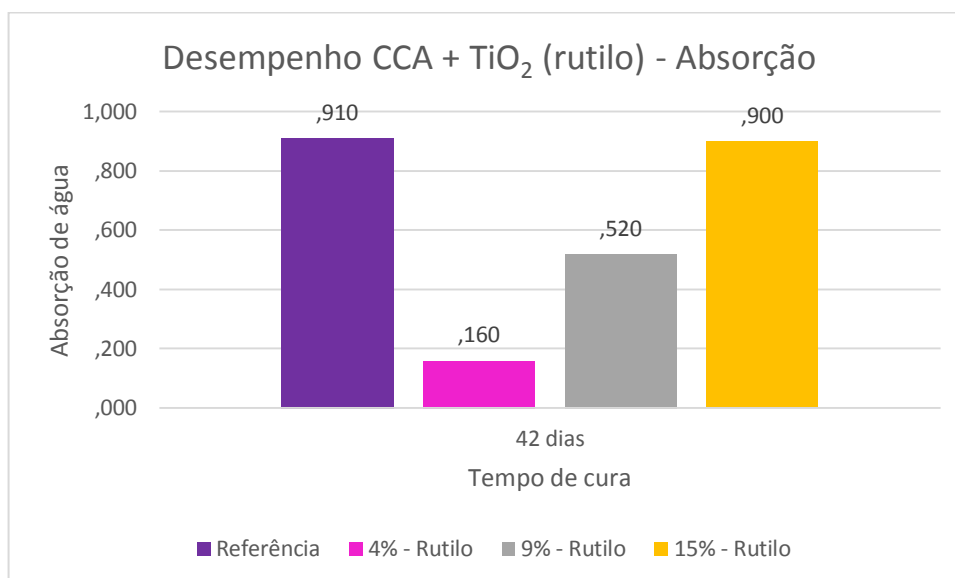
Tabela 5: Média dos coeficientes de absorção com seus referentes teores – CCA + Anatase

	Referência	4% - Anatase	9% - Anatase	15% - Anatase
42 dias	0,91	0,71	0,56	0,49

Fonte: Das autoras

Consoante as informações do Gráfico 5 e da Tabela 5, é notório que conforme os teores de CCA aumentam os valores dos coeficientes de absorção por capilaridade diminuem, mostrando que o composto foi eficaz na redução da absorção de água, com destaque para o teor de 15% que reduziu a absorção em pelo menos 53% quando comparado com os resultados de referência, ressaltando que o TiO_2 também pode ter colaborado para essa queda nos índices.

Gráfico 6: Resultados dos coeficientes de absorção – CCA +Rutilo



Fonte: Das autoras

Tabela 6: Média dos coeficientes de absorção com seus referentes teores – CCA + Rutilo

	Referência	4% - Rutilo	9% - Rutilo	15% - Rutilo
42 dias	0,91	0,16	0,52	0,90

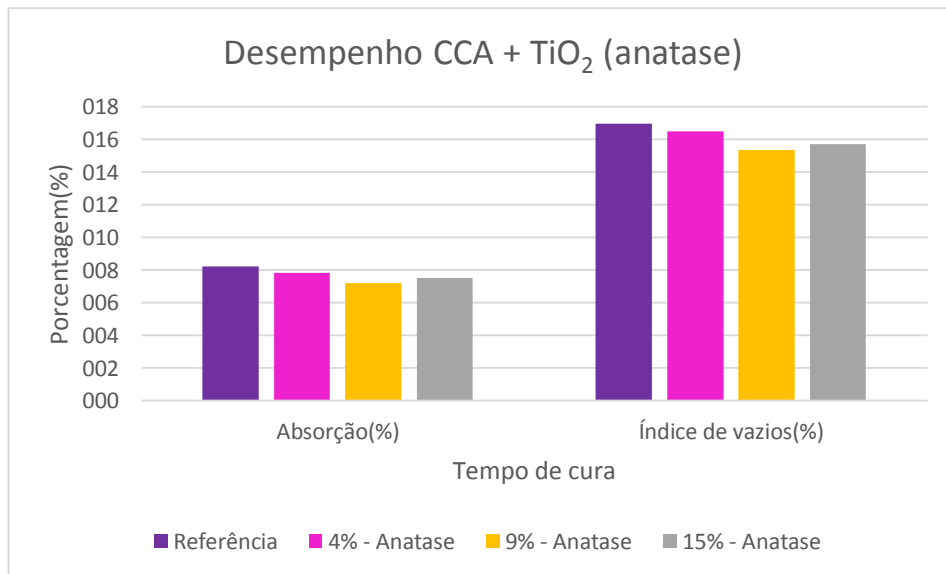
Fonte: Das autoras

Conforme apresentado no Gráfico 6 e da Tabela 6, o índice de absorção de água com a adição de 4% de CCA foi muito inferior ao valor de referência, o teor de 9% de CCA também apresentou resultado satisfatório e os CP's com maior teor de CCA apresentaram absorção muito próxima do valor dos CP's de referência.

4.4 Ensaio de Índice de Vazios

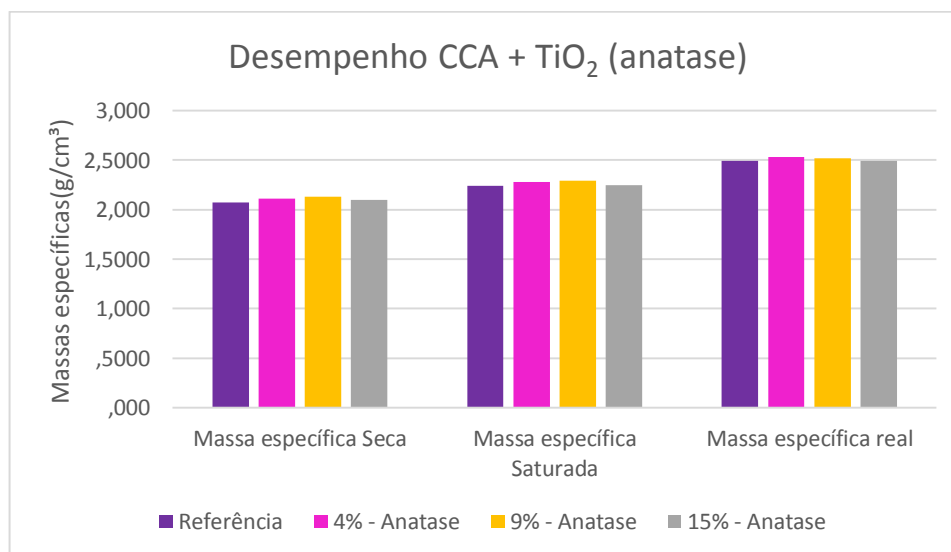
Os resultados deste ensaio final foram colocados nos Gráficos 7 a 9, bem como nas Tabelas 7 a 9.

Gráfico 7: Coeficientes de absorção e índice de vazios com seus diferentes teores - CCA +Anatase



Fonte: Das autoras

Gráfico 8: Coeficientes de massa específica seca, saturada e real, respectivamente com seus diferentes teores - CCA + Anatase



Fonte: Das autoras

Tabela 7: Coeficientes resultantes do ensaio de índice de vazios - CCA + Anatase

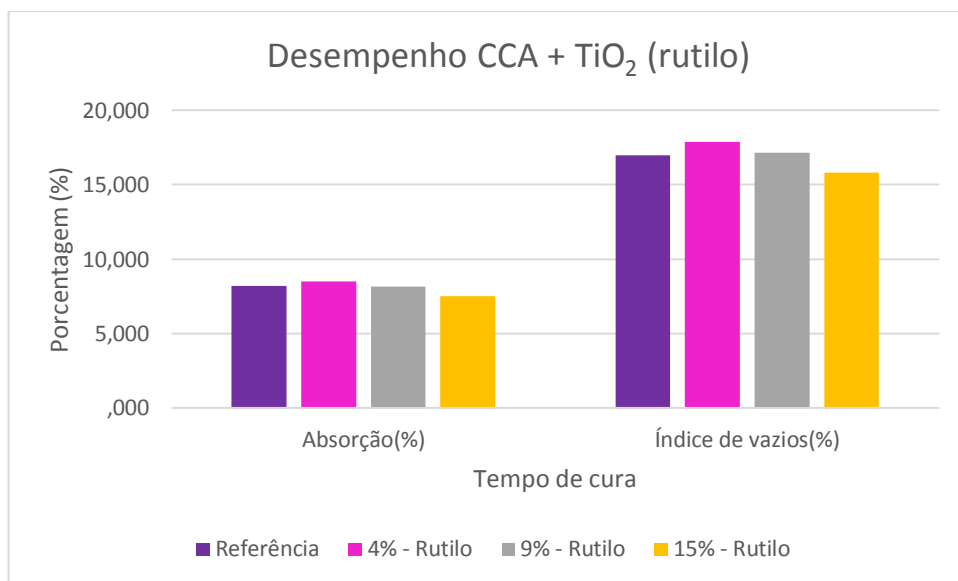
	Referência	4% - Anatase	9% - Anatase	15% - Anatase
Absorção(%)	8,21	7,81	7,20	7,49
Índice de vazios(%)	16,98	16,5	15,36	15,69
Massa específica Seca	2,07	2,11	2,13	2,10
Massa específica Saturada	2,24	2,28	2,29	2,25
Massa específica real	2,49	2,53	2,52	2,49

Fonte: dos autores

Finalmente, para este ensaio, observa-se que para o índice de absorção os corpos de prova com as adições obtiveram maior êxito, bem como no índice de vazios, o que demonstra a influência que as substituições tiveram nas amostras, nas quais, possivelmente, a CCA preencheu os vazios presentes na argamassa, por possuir partículas finas, reduzindo a entrada e passagem de água pela massa e mitigando a quantidade de vazios. Vale enfatizar, ainda, que, novamente, conforme o teor de cinzas aumenta os índices diminuem, destacando o teor de 15% que obteve os menores resultados em todo o ensaio.

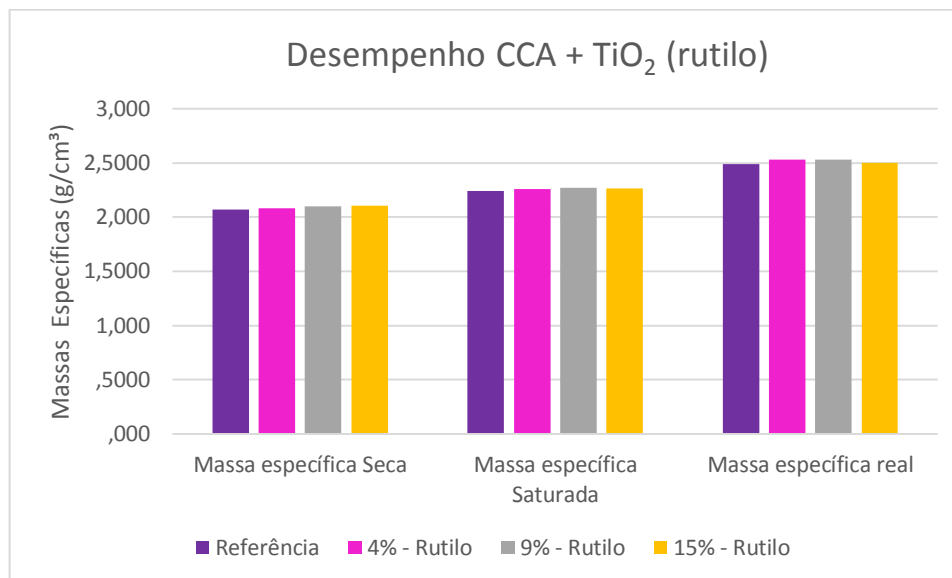
Já para as massas específicas seca, saturada e real constata-se que não houve grandes alterações, contudo, as argamassas com as adições alcançaram valores levemente superior ao de referência, presumivelmente, devido às partículas da cinza que ocuparam grande parte dos espaços vazios dos corpos de prova.

Gráfico 9: Coeficientes de absorção e índice de vazios com seus diferentes teores - CCA + Rutilo



Fonte: Das autoras

Gráfico 10: Coeficientes de massa específica seca, saturada e real, respectivamente com seus diferentes teores - CCA + Rutilo



Fonte: Das autoras

Tabela 8: Coeficientes resultantes do ensaio de índice de vazios - CCA + Rutilo

	Referência	4% - Rutilo	9% - Rutilo	15% - Rutilo
Absorção(%)	8,21	8,51	8,16	7,51
Índice de vazios(%)	16,98	17,87	17,12	15,80
Massa específica Seca	2,07	2,08	2,10	2,10
Massa específica Saturada	2,24	2,26	2,27	2,26
Massa específica real	2,49	2,53	2,53	2,50

Fonte: Das autoras

Observou-se que para o índice de absorção os corpos de prova com maiores teores de CCA obtiveram maior êxito. Já no índice de vazios, houve um aumento do índice nos teores de 4% e 9% em relação aos corpos de prova de referência, mas conforme foi aumentando o teor de CCA o índice de vazio, diminuiu o que demonstra a influência que as substituições tiveram nas amostras, nas quais, possivelmente, a CCA preencheu os vazios presentes na argamassa, por possuir partículas finas. O teor de 15% foi o que apresentou os melhores resultados nesse ensaio, com baixa absorção e índice de vazios.

As massas específicas secas, saturada e real não sofreram muitas alterações com a adição de CCA, elas sofreram alteração leve proporcional ao aumento do teor de CCA na argamassa.

4.5 Ensaio de perda ao fogo

Os resultados para este ensaio foram apresentados por meio da Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado ensaio de perda ao fogo

Cadinho 0	Cadinho 3
Massa restante CCA (g): 0,779	Massa restante CCA (g): 0,969
Massa Inicial CCA (g): 1,002	Massa Inicial CCA (g): 1,006
%perda= 22,26	%perda= 3,68
Cadinho 1	Cadinho 4
Massa restante CCA (g): 0,962	Massa restante CCA (g): 0,956
Massa Inicial CCA (g): 1,004	Massa Inicial CCA (g): 1,000
%perda= 4,18	%perda= 4,40
Cadinho 2	Cadinho 5
Massa restante CCA (g): 0,956	Massa restante CCA (g): 0,971
Massa Inicial CCA (g): 1,000	Massa Inicial CCA (g): 1,003
%perda= 4,40	%perda= 3,19

Fonte: Das autoras

De acordo com a Tabela 9, percebe-se que no Cadinho 0 houve uma maior porcentagem de perda ao fogo, devido a amostra ter mais carbonos fixos e impurezas em sua composição, ou seja, nas cinzas que estavam sendo utilizadas inicialmente, não estava ocorrendo a eliminação dessas substâncias que afetam os índices de resistência das argamassas. Já para os demais cadinhos, compostos por amostras queimadas da forma adequada, notou-se que as porcentagens de perda ao fogo permaneceram dentro do padrão adotado pela norma de até 6%. Dessa forma, o procedimento de queima foi alterado de forma a garantir que as cinzas permanecessem dentro do padrão exigido pela norma a fim de não modificar os resultados de resistência da argamassa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os resultados apresentados anteriormente é possível notar que a CCA e o TiO_2 (anatase e rutilo) tiveram influência nas propriedades mecânicas ensaiadas e principalmente na diminuição da absorção de água.

Para a resistência a Compressão o traço de 4% de CCA foi o que mais se mostrou eficiente em relação ao ganho de resistência, tanto na forma cristalina anatase como no rutilo, com

exceção da idade de 7 dias todos os traços tiveram resistências superiores aos valores de referência. Para a forma cristalina rutilo o traço de 15% de CCA com idade de 42 dias também apresentou ganho de resistência em relação a referência. Os demais traços não tiveram ganho de resistência, mas seus valores se aproximaram muito da referência.

Já para a resistência a tração por compressão diametral, o traço que mostrou ganho de resistência em todas as idades foi o de teor de 9% de CCA em ambas as formas cristalinas do TiO_2 . Os outros teores também foram eficientes, exceto nas idades de 14 dias os teores 4% e 15% de CCA e 28 dias o teor de 15%, tanto na forma cristalina rutilo como na anatase, que os valores de resistência foram inferiores à referência. Na forma cristalina anatase do TiO_2 o traço com teor de 4% e idade de 42 dias, também não teve resultado superior à referência. Dessa forma, pode-se concluir que para a resistência a tração por compressão diametral o teor de substituição que mais se destacou foi o de 9% em ambas as formas cristalinas do TiO_2 .

Nos ensaios de absorção de água por capilaridade e por imersão, foi possível notar a diferença entre as formas cristalinas do TiO_2 e a sua influência no preenchimento dos poros da argamassa, pois na forma cristalina anatase os resultados de absorção foram diminuindo conforme o teor de CCA aumentava, apresentando menor índice de absorção no teor de 15%, já no rutilo o índice de absorção no teor de 4% de CCA foi o menor, e conforme os teores de CCA iam aumentando a absorção também aumentava.

Quanto às propriedades físicas ensaiadas, se constatou diferença desprezível nas massas específicas reais, secas e saturadas das argamassas, quer tenham substituições de cimento ou não.

No ensaio de índice de vazios na forma cristalina anatase todos os teores de CCA apresentaram índices menores que os valores de referência, já no rutilo o único resultado que teve índice menor que a referência foi o teor de 15% de CCA.

Por fim, pode-se afirmar a influência do dióxido de titânio, tanto na fase rutilo como na anatase, e da Cinza de Casca de arroz nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas, indicados para uso como materiais cimentícios suplementares, com significativa melhora nos índices de absorção de água e principalmente na resistência a tração por compressão diametral.

Constatou-se a eficiência da substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz e dióxido de titânio nas fases anatase e rutilo, e podem ser desenvolvidos outros estudos com esses materiais em teores mais altos ou associados a outros materiais

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO Brasileiro do arroz. Editora Gazeta, Santa Cruz do Sul - RS, 2022. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-do-arroz-2022/>> Acesso em: 22/07/2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

COTTON, F.A.; WILKINSON, G.; GAUS, P.L. **Basic Inorganic Chemistry**, 3rd ed., John Wiley & Sons, p. 550, 1995.

BHEEL, N.; DAYO, A.; ABRO, A.; SHAIKH, S.; SHAR, I.; SHAIKH, Z. **Use of rice husk ash as cementitious material in concrete.** Engineering Technology & Applied Science Research, v. 9, p. (4209-4212), 2019.

BONATO, M. **Desempenho Mecânico e ambiental de concretos e argamassas de cimento Portland com substâncias minerais orgânicas e fotocatalíticas.** Universidade Federal do Paraná, p. (1-189), 2014

BONELLI, T.M. **Desenvolvimento de argamassas geopoliméricas com adição de cinza de casca de arroz.** Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, p. (1-58), 2022.

CAMILO, M.G. **Estudo do uso de cinza de casca de arroz como material cimentício suplementar para produção de concreto.** UNISUL, p. (1-38), 2018.

EHRENBRING, H.Z.; CHRIST, R.; PACHECO, F.; FRANCISCO, L.W.; BOLEZINA, G.C.; HANAUER, N.B.; GRINGS, G.G.; TUTIKIAN, B.F. **Analysis of the Self-Cleaning Potential of Glass Fiber Reinforced Concrete (GRC) with TiO₂ Nanoparticles.**

ESSAWY, A. A.; EL.ALEEM, S. Abd. **Physico-mechanical properties, potent adsorptive and photocatalytic efficacies of sulfate resisting cement blends containing micro silica and nano-TiO₂**. Construction and Building Materials, v. 52, p. 1–8, 2014.

FERNANDES, D.; RODRIGUES, S.; CARRIJO, S. **Cinza da casca de arroz como substituição parcial do cimento**. Pesquisa UNIFEMES, p. (1-7), 2018

LUDWIG, D. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz**. Univates, p. (1-58), junho de 2014.

MASANJA, D.N.; MUYA, M.S.; NYANGI, P. **Characteristics of Combined Rice and Wheat Husk Ashes as a Partial Replacement for Cement in Mortar**. Civil Engineering Journal. v. 08, p. (1-12), 2022.

MOHSENI, E.; NASERI, F.; AMJADI, R.; KHOTBEHSARA, M.; RANJBAR, M. **Microstructure and durability properties of cement mortars containing nano-TiO₂ and rice husk ash**. Construction and Building Materials v.114, p. (656-664), 2016.

NATARAJAN, S; JEELANI, S.H.; SUNAGAR, P.; MAGADE, S.; SALVI, S.S.; BHATTACHARYA, S. **Investigating Conventional Concrete using Rice Husk Ash (RHA) as a Substitute for Finer Aggregate**. Journal of Physics: Conference Series, p. (1-8), 2022

POUEY, M. **Beneficiamento da cinza da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. (1-345), 2006.

RAMOS, R. **USDA estima produção de arroz do Brasil em 11,618 milhões de t para 2021/22**. Mais Soja, 09 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/usda-estima-producao-de-arroz-do-brasil-em-11618-milhoes-de-t-para-2021-22/>>. Acesso em: 02/08/2022

RIBEIRO, K.B. **Influência da substituição de cimento por dióxido de titânio na resistência mecânica e propriedades físicas de argamassas**. Brasília/DF: Programa de Iniciação Científica (PIC) em Engenharia Civil – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, 2020/2021.

SILVA, R. **Estudo da durabilidade de concretos com a substituição do cimento por cinza de casca de arroz sob ação de sulfatos**. UNIVATES, p. (1-68), 2019

SHAABAN, I.; EL-SAYAD, H.; EL-GHALY, A.; MOUSSA, S. **Effect of micro TiO₂ on cement mortar**. European Journal of Materials Science and Engineering v. 5(2), p. (58-68), 2020.

SCHULZ, T. **Ensaio de concreto autolimpante para utilização na construção civil**. UNILAVRA, p. (1-62), 2020.