

# MAPEAMENTO DO PERFIL DE FRATURA DE PASTAS CIMENTÍCIAS POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.

*Alessandra Vieira de Medeiros<sup>1</sup>, Marília Pereira de Oliveira<sup>2</sup>*

## RESUMO

Ao analisar, experimentalmente, o cimento Portland é possível observar quais fatores que influenciam diretamente na resistência desse material, onde podemos citar: consistência, massa Específica, ar incorporado, características físicas, composição química, e todas essas incógnitas estão diretamente, ligada a relação água/cimento. Conhecer e relacionar esses fatores, resultará em diferentes valores de resistências do material em seu estado endurecido. Logo, é um parâmetro fundamental para se ter sucesso na aplicação do mesmo. Dessa forma, este artigo teve como objetivo investigar o efeito dos diferentes tipos de cimentos brasileiros sobre a resistência a compressão. Para atingir este objetivo foram produzidas pastas cimentícias com diferentes relações água/ligante e fazendo análises de trincas em diferentes intervalos de tempo. As metodologias utilizadas avaliaram qual relação água/ligante propicia diferentes valores de resistência a cada tipo de cimento Portland. Os resultados encontrados mostraram que: a resistência é diretamente afetada pelo tipo de cimento Portland e as relações água/ligante.

**Palavras-chave:** Relação água/cimento; Resistência a compressão; Cimento Portland.

## 1. INTRODUÇÃO

O cimento é um dos principais materiais da construção civil, pois é muito utilizado, praticamente, em quase todas as etapas dentro de uma obra. Dessa forma, conhecer sobre esse material é fundamental para qualquer profissional que irá desempenhar uma função dentro da área.

O cimento Portland é o material de construção mais utilizado em todo o mundo, dado a sua versatilidade de aplicações e abundância de matérias-primas. Esse material está presente em concretos e argamassas, apresentando boas características de resistência, durabilidade e trabalhabilidade, estes são os principais materiais encontrados nas grandes obras de engenharia: ponte, viadutos, aeroportos, portos, arranha-céus, rodovias, etc.

Sendo um aglomerante ativo e hidráulico que quando adicionado água, ocorre reação química, transformando o pó de cimento em uma massa cristalizada, que vai endurecendo e criando resistência ao longo do tempo. O mesmo é composto por clínquer (mistura de calcário, argila e minério de ferro), porém existem diferentes compostos que podem fazer parte do cimento, além dos já citados, que dará a ele outras características específicas. Geralmente, nas obras são utilizados os cimentos do tipo Portland, os quais proporcionam diferentes vantagens.

Os concretos e argamassas cimentícias devem apresentar uma maior resistência ao decorrer dos dias de seu estado endurecido. Dessa forma, entende-se por resistência a compressão, a medida dos esforços compressivos provocados em uma peça ou superfície, podendo ser analisada a qualidade e durabilidade da estrutura para resistir as influências previstas, durante um processo executivo, quando desenvolvida com determinados tipos de cimentos distintos.

A pasta de cimento, como é denominada a mistura de água e cimento, muito utilizada para conferir impermeabilidade; trabalhabilidade; envolver agregados e preencher os vazios do concreto, possui resistências diferentes, quando é adicionada quantidades distintas de água, em sua formação. Haja visto, que o excesso de água, diante de uma determinada massa de cimento, causará uma menor resistência, e um aumento da porosidade do material.

A resistência da pasta depende de vários fatores, tais como as características físicas (distribuição do tamanho de partículas, densidade, área superficial específica), características químicas, mineralógicas, histórico de cisalhamento, energia de mistura, relação água/cimento, tipos de ligante etc.

Logo, este trabalho teve por objetivo investigar a influência dos diferentes tipos de cimentos brasileiro (CP – II, CP – IV e CP – V) sobre a resistência de compressão axial de pastas de cimento Portland realizado na Máquina universal de ensaio, modelo: EMiC DL 10000.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Cimento Portland se apresenta como um material em estado de pó fino, constituído de sulfatos, e aluminatos de cálcio, é definido como um ligante hidráulico, o qual é obtido através da moagem do clínquer Portland, e da adição de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio e adições minerais, os teores são fornecidos por normas [1]. Esses componentes misturados, quando em contato com a água, hidratam-se e provoca o endurecimento da massa, o qual garante boa resistência mecânica no mesmo, e não se degrada facilmente sobre ação da água e outros agentes.

O nome cimento Portland é atribuído devido a sua semelhança em cor e qualidade do cimento endurecido com a pedra de Portland.

### 2.1. Composição do Cimento Portland

Cada componente do cimento Portland determina algum comportamento em sua aplicação, seja para pastas cimentícias, argamassas ou concretos. Dessa forma, a partir de estudos desenvolvidos, foi possível determinar os principais componentes desse pó. O Cal ( $\text{CaO}$ ), que corresponde de 60 a 67% da sua composição, influenciando no aumento da resistência mecânica do material endurecido, portanto, é um componente essencial para formação dos cimentos, segundo Petrucci (1970). Caso ocorra algum erro na fabricação da Cal, pode-se prejudicar a estabilidade de volume de concretos e argamassas.

A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) – bióxido de silício sendo um constituinte básico das rochas naturais (Quartzitos, arenitos, argilas e areia), quando em contato com a Cal, forma silicatos de cálcio, conferindo o efeito aglomerante ao cimento, possui de 17 a 25 % da composição do material. Já a Alumina (A) é um composto que corresponde de 3 a 8 % da mistura, provinda da argila, reage com a cal formando os aluminatos de cálcio que ao ser hidratados, formam os colóides rígidos. É um reagente importante, pois aceleram o tempo de pega desse aglomerante e reduzem a resistência aos sulfatos, por esse motivo, estão presentes em pequenas quantidades. Já outra contribuição em pequena quantidade é do óxido de ferro (F), proveniente da argamassa utilizada na fabricação do cimento e compõe de 0,5 a 6 % do cimento Portland, combinando com outros óxidos presentes Vale ressaltar, que esse componente não deve ser utilizado para a fabricação dos cimentos brancos, pois ele resulta na coloração escura, com tonalidade de café [9.]

### 2.2. Classificação dos Cimentos

O cimento Portland possui diferentes classificações, com aplicações e composições distintas. Dessa forma, temos o CP I – Cimento Portland Comum que possui fórmula mais simplificada, tendo o gesso como o único aditivo presente, influenciando no retardamento da rigidez, dando maior tempo de aplicação, além disso, é um composto que apresenta baixa resistência, muito utilizado na área industrial. O CP I – S, Cimento Portland Comum com Aditivo, possui características semelhantes ao anterior, porém possui adição de pozolana, dando menor permeabilidade ao produto final.

O CP II – E, Cimento Portland Composto com Escória, considerado um produto intermediário entre os modelos comum e aditivados, seu uso é feito em obras que requerem liberação de calor razoável. O CP II – Z, Cimento Portland Composto com Pozolana, como o próprio nome já diz, possui adição de pozolana, garantindo uma boa permeabilidade, muito utilizado em obras subterrâneas com alta umidade. Já o CP II – F, Cimento Portland Composto com Fíler, um dos mais eficientes para uso em obras simples que exigem resistência e possui concentração de fíler de 6 a 10 %.

O CP III – Cimento Portland de Alto Forno, sua principal característica mais importante, é o baixo calor de hidratação, sua alta durabilidade e impermeabilidade, apresentando boa resistência a sulfatos e também para dilatações (contração e expansão), podendo ser composto por até 70% de escória em sua composição. Esse tipo de cimento, é recomendado para aplicação em ambientes com alta agressividade, como as barragens, esgotos, pontes, também em obras mais simples e genéricas. [10].

O CP IV, Cimento Portland Pozolânico, possui uma maior quantidade de pozolana em sua composição, variando entre 15 e 50 %, permitindo alta permeabilidade e durabilidade, com alta resistência em ambientes agressivos com sulfatos. Já o CP V –, Cimento Portland com Alta Resistência Inicial, cimento semelhante ao comum, não possui aditivos em sua formação, porém seu método de fabricação dosa a argila e o calcário de forma mais diferenciada com moagem fina. Devido a essa diferença em sua formação, ele adquire características físicas que permite alta resistência, rapidamente, além da rápida secagem, é muito utilizada na fabricação do concreto. [10].

O CPB, Cimento Portland Branco, utiliza-se o caulim para sua fabricação, possuindo baixas concentrações de manganês, garantindo a sua coloração branca podendo ser comercializada em diferentes colorações.

### 2.3. Pasta de Cimento Portland

Pasta de cimento é uma mistura padronizada do cimento e água. Sabendo que para cada aplicação distinta do cimento Portland, existem diferentes tipos de cimento, de acordo com cada especificação, a análise de resistências é um fator importante para essa escolha, tanto quando se refere ao cimento, quanto a quantidade de água que é necessário para sua mistura.

Quando adicionada água ao cimento, ocorre a formação dos aglomerados, conhecidos como força de Van der Waals [3], esse fenômeno ocorre quando os aglomerados das partículas se formam, aleatoriamente, alterando a distribuição granulométrica efetiva e incorporando água em seu interior, modificando a reologia do sistema. A estrutura aglomerada pode implicar na retenção de água nessa mistura, e com isso gerar uma rede aberta de canais entre as partículas. A rede de vazios, pode aprisionar parte dessa água, dessa forma, ela fica indisponível para hidratação da superfície das partículas de cimento e fluidificar a mistura [4].

A hidratação do cimento, inicia assim que as partículas do mesmo, entram em contato com a água, devido a finura do mesmo (Pó), para isso, as partículas do cimento devem estar desfloculadas e manter-se em um alto grau de dispersão [15].

Para esse caso de pastas cimentícias, a água atua proporcionando mobilidade as partículas do cimento Portland e as adições minerais, de modo que um empacotamento eficiente das partículas finas resultará na redução do consumo de água das misturas, podendo também colaborar mais que tornem as pastas mais fluidas [14].

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados três tipos de cimento: o CP II-E-40 Cimento Portland com escória de alto forno, o CP IV-40 Cimento Portland pozolânico e o CP V-ARI Cimento Portland de alta resistência inicial. De acordo com a ABNT NBR 16697/2018 estes cimentos podem conter adições minerais cujos valores percentuais respeitem os limites apresentados na Tabela 1. A água utilizada foi proveniente do sistema de abastecimento da cidade de Mossoró-RN.

| Designação                            | Sigla      | Clínquer + sulfato de cálcio | Escória de alto forno | Material Pozolânico | Material Carbonático |
|---------------------------------------|------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| Cimento Portland composto com escória | CP II-E-40 | 51 – 94                      | 6 – 34                | 0                   | 0 – 15               |
| Cimento Portland Pozolânico           | CP IV-40   | 45 – 85                      | 0                     | 15 – 50             | 0 – 10               |
| Cimento Portland de Alta Resistência  | CP V-ARI   | 90 – 100                     | 0                     | 0                   | 0 – 10               |

Tabela 1: Limites de composição dos cimentos Portland (% em massa).

### 3.1. Preparação Das Pastas Cimentícias e Moldagem dos Corpos de Prova.

Para a preparação das pastas cimentícias foi utilizado 750 g de cada tipo de cimento, com diferentes relações água/cimento de 0,30/0,35/0,40/0,45 e 0,50. A quantidade de água utilizada em cada ensaio, pode ser calculada através da equação (1).

$$Qa = R(a/c) \times Mc \quad (1)$$

Onde,

$Qa$  = é a quantidade de água expressa em porcentagem (ml);

$R(a/c)$  = relação água/cimento;

$Mc$  = massa de cimento (g)

Foram preparadas manualmente 5 pastas para cada tipo de cimento Portland, totalizando 15 pastas. Com a quantidade de cimento pesado na balança e água medida na proveta, ambos foram adicionados em um recipiente de plástico e misturados, com o auxílio de uma espátula até ficar com consistência homogênea, para a moldagem dos corpos de prova. Para essa moldagem, foram utilizados fôrmas cilíndricas, com as seguintes dimensões: 5x10 cm, sendo diâmetro e altura, respectivamente.

De acordo com as figuras 01 e 02 foram analisadas as diferentes consistências das pastas quando alterada a quantidade de água presente na mistura.



Figura 01. Pasta do cimento CP – IV  
relação A/C 0,30 (Autoria Própria, 2022)



Figura 02. Pasta do cimento CP – II  
relação A/C 0,50 (Autoria Própria, 2022)

Após a preparação de cada pasta cimentícia foi realizada a moldagem dos corpos de prova. A pasta foi inserida no molde em camadas e adensadas com um soquete, permanecendo por 24 horas nos moldes (Figura 03), em seguida foram desmoldados e colocados em processo de cura submersa (Figura 04) por um período de 28 dias.



Figura 03. Molde do cimento CP - II  
(Autoria Própria, 2022).



Figura 04. Processo de cura do CP - II  
(Autoria Própria, 2022).

Para retificação dos corpos de prova de estudo, foi utilizado o processo de nivelamento do corpo de prova, adicionando pasta de cimento para corrigir as irregularidades das superfícies como mostra a figura 05. Após a pasta endurecida se fez necessário lixar para a superfície ficar completamente regularizada.



Figura 05. Processo de retificação dos corpos de prova  
(Autoria Própria, 2022)

### 3.2. Ensaios de Massa Específica e Teor de Ar incorporado

Para determinação da massa específica do cimento em pó, foi utilizada a norma ABNT NBR 16605/2017 - Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.

O teor de ar incorporado e densidade de massa da pasta, foram determinados com base na norma ABNT NBR 13278/2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de parede e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.

Essa norma, é utilizada para cálculos de argamassa, porém como não há uma que determine esses fatores para a pasta de cimento, ela foi adaptada para esse fim. Para execução desse ensaio, foi feita uma adaptação da aparelhagem.

A densidade de massa foi calculada através da densidade de massa da pasta, no estado fresco, em kg/m<sup>3</sup>, através da equação 2.

$$d = \frac{mc - mv}{vr} 1000 \quad (2)$$

Onde:

$mc$  é a massa do recipiente contendo a pasta de ensaio, em gramas;

$mv$  é a massa do recipiente vazio, em gramas;

$vr$  é o volume do recipiente, em centímetros cúbicos.

Em seguida, para cálculo do teor de ar incorporado, foi utilizada a equação 3.

$$A = 100 \left( \frac{1-d}{dt} \right) \quad (3)$$

Onde:

$A$  é o teor de ar incorporado na pasta, expresso em porcentagem (%).

$d$  é o valor da densidade de massa da pasta, em gramas por centímetros cúbicos;

$dt$  é o valor da densidade de massa teórica da pasta, em gramas por centímetros cúbicos, sem vazios.

Como foi utilizada pasta dosada em laboratório, utilizou-se a equação 4, para cálculos da densidade de massa teórica.

$$dt = Qc * Yc + Qa * Ya \quad (4)$$

Onde:

$Qc$  é a quantidade de cimento presente na pasta, em porcentagem (%);

$Yc$  é a massa específica do cimento em g/cm<sup>3</sup>; (Obtida através do ensaio de massa específica para o cimento Portland de acordo com a ABNT NBR 16605/2017)

$Qa$  é a quantidade de água em porcentagem (%);  
 $Ya$  é a massa específica da água em  $\text{g/cm}^3$ .

### 3.3. Ensaio de Resistência à Compressão

Após a cura de 28 dias dos blocos das pastas cimentícias, para obter os resultados da resistência a compressão e análise das fraturas dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de compressão em prensa universal de ensaios, do modelo EMiC DL10000. Com o auxílio de um tripé e uma câmera (Figura 06) foram realizadas as filmagens do ensaio de cada corpo de prova (figura 07), para posteriormente, serem analisadas através do programa PAINT, onde serão elaborados um conjunto de imagens de cada corpo de prova, para que seja estudado o seu comportamento de fissura, em diferentes intervalos de tempo.

Como foram moldados 2 CP para cada tipo de relação a/c, para fins de cálculos, considerar as seguintes condições:

Se, a diferença entre as resistências for  $\geq 10\%$  da maior resistência, considerar a maior.

Se, a diferença entre as resistências for  $< 10\%$  da maior resistência, considerar a média entre elas.



Figura 06. Aparelhagem para ensaio de compressão.  
(Autoria Própria, 2022)



Figura 07. Bloco de CP IV, A/C 0,5, rompido.  
(Autoria Própria, 2022)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Massa Específica do Cimento Portland, Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado da Pasta

De acordo o ensaio de massa específica, seguida pela ABNT NBR 16605/2017 - Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica, foram obtidos os valores de  $3,08 \text{ g/cm}^3$ ,  $3,15 \text{ g/cm}^3$  e  $3,28 \text{ g/cm}^3$ , para os cimentos CP II, CP IV E CP V, respectivamente.

Dessa forma, foi possível calcular os valores de Ar Incorporado em cada mistura. Os valores estão expressos nas tabelas 01,02 e 03 e no Gráfico 1.

Através dos dados obtidos nas tabelas podemos analisar que a densidade experimental, massa específica da pasta no estado fresco, diminuiu com aumento da relação água/cimento para todos os tipos de cimento, e o aumento da quantidade de água na pasta, pelo fato da massa específica da água ser menor que a do cimento proporcionou essa diminuição na densidade experimental da pasta.

Já com relação ao teor de ar incorporado na pasta cimentícia, pode-se analisar que houve diminuição com o aumento da relação água/cimento, esse fato ocorre, pois, cada vez mais a mistura fica preenchida por água, facilitando a homogeneização da mesma, impedindo a maior quantidade de ar na mistura que estaria presente entre as partículas de cimento.

| Cimento Portland - CP V |                                  |                                            |                                       |                    |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Relação a/c             | Massa do molde com Argamassa (g) | Densidade Experimental ( $\text{g/cm}^3$ ) | Densidade Teórica ( $\text{g/cm}^3$ ) | Ar incorporado (%) |
| 0,30                    | 837,60                           | 2,11                                       | 2,60                                  | 18,75              |
| 0,35                    | 816,30                           | 2,06                                       | 2,48                                  | 17,20              |
| 0,40                    | 796,30                           | 2,00                                       | 2,37                                  | 15,37              |
| 0,45                    | 782,00                           | 1,97                                       | 2,25                                  | 12,70              |
| 0,50                    | 780,70                           | 1,96                                       | 2,14                                  | 8,209              |

Tabela 01. Análise de dados, para cálculo de Ar Incorporado - Cimento CP V. (Autoria Própria, 2022)

| Cimento Portland - CP II E |                                  |                               |                                       |                    |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| Relação a/c                | Massa do molde com Argamassa (g) | Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) | Densidade Teórica ( $\text{g/cm}^3$ ) | Ar incorporado (%) |
| 0,30                       | 828,60                           | 2,09                          | 2,46                                  | 15,05              |
| 0,35                       | 805,30                           | 2,03                          | 2,35                                  | 13,82              |
| 0,40                       | 778,00                           | 1,96                          | 2,25                                  | 12,92              |
| 0,45                       | 774,60                           | 1,95                          | 2,14                                  | 9,10               |
| 0,50                       | 750,70                           | 1,89                          | 2,04                                  | 7,46               |

Tabela 02. Análise de dados, para cálculo de Ar Incorporado - Cimento CP II E. (Autoria Própria, 2022)



| Cimento Portland - CP IV 32 RS |                                  |                                |                                        |                    |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|--------------------|
| Relação a/c                    | Massa do molde com Argamassa (g) | Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) | Densidade Teórica (g/cm <sup>3</sup> ) | Ar incorporado (%) |
| 0,30                           | 792,70                           | 1,99                           | 2,51                                   | 20,36              |
| 0,35                           | 800,80                           | 2,02                           | 2,40                                   | 15,93              |
| 0,40                           | 760,50                           | 1,91                           | 2,29                                   | 16,47              |
| 0,45                           | 752,20                           | 1,89                           | 2,18                                   | 13,32              |
| 0,50                           | 737,00                           | 1,85                           | 2,08                                   | 10,70              |

Tabela 02. Análise de dados, para cálculo de Ar Incorporado - Cimento CP V. (Autoria Própria, 2022)

Do mesmo modo, esses valores foram exibidos por meio do gráfico 01, demonstrando sua linha de tendência, e determinação do valor de  $R^2$  que pode ser interpretado como a proporção da variação em y que pode ser atribuída a variação de x.

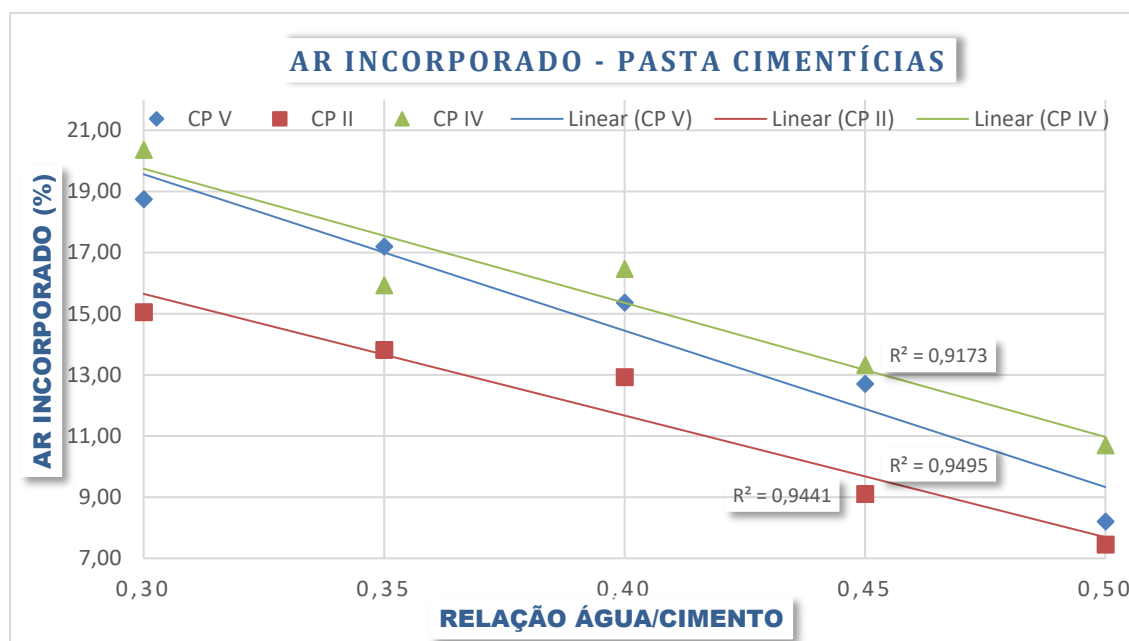


Gráfico 01. Representação do Ar incorporado (%), em relação ao fator água/cimento. (Autoria Própria, 2022).

#### 4.2. Ensaio de Resistência a Compressão

De acordo com os resultados do ensaio de resistência à compressão, expostos nos gráficos 02, 03 e 04, é possível analisar que não houve um comportamento definido para os mesmos. O esperado, é que as todas as resistências fossem diminuindo de acordo com o aumento da quantidade de água na pasta. Alguns desses resultados, sofreram discrepância em relação ao valor esperado, porém, foi possível observar que vários fatores podem ter influenciado nesse resultado, como no processo de mistura, onde não teve controle de tempo e velocidade na moldagem dos corpos de prova. Outro fator importante que pode ter causado discrepância nesses resultados, foi o processo de retificação do mesmo, pois foi utilizado pasta de cimento como alternativa de regularização, e isto pode não ter ocasionado uma boa regularização.

O resultado referente a discrepância do CP II (Gráfico 02) e CP IV (Gráfico 03), referente a relação a/c 0,35, se dá devido a relação a/c 0,30 não possuir uma boa homogeneização da mistura. Dessa forma, como o 0,35 possui maior facilidade na mistura, consequentemente, obteve uma melhor homogeneização. Os demais resultados demonstraram que a resistência diminuiu com o aumento da relação água/cimento.

Com relação aos dados do cimento CP V (Gráfico 04), o resultado da relação a/c 0,45, foge ao padrão e se faz necessário refazer o estudo, para obtenção de novos resultados, para comparação com o atual.

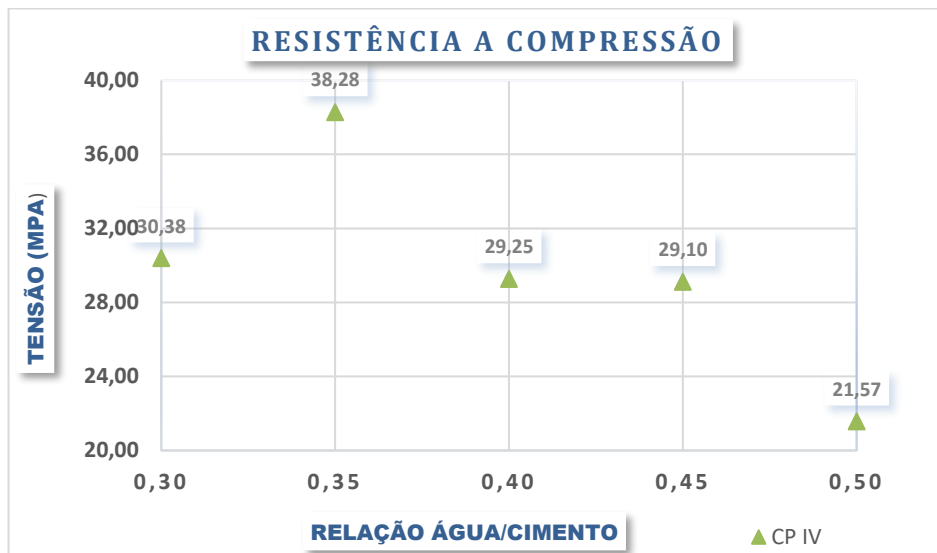


Gráfico 02. Representação da Resistência a compressão do cimento CP IV. (Autoria Própria, 2022)

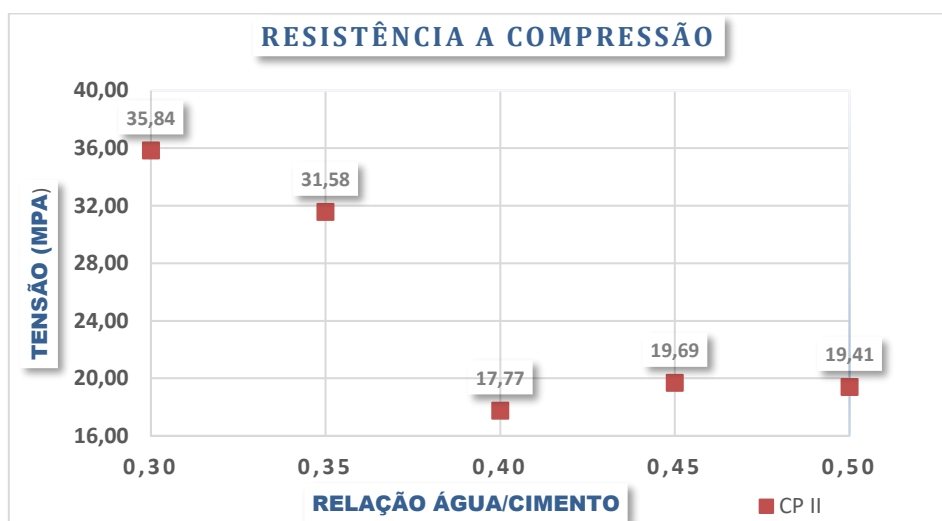


Gráfico 03. Representação da Resistência a compressão do cimento CP IV. (Autoria Própria, 2022)

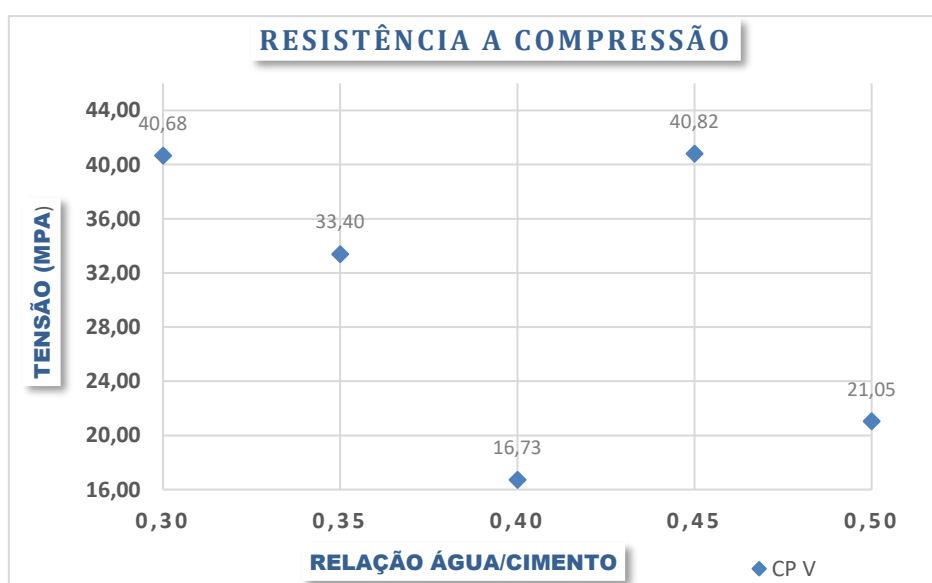


Gráfico 04. Representação da Resistência a compressão do cimento CP V. (Autoria Própria, 2022)



Após análise dos dados referentes a resistência à compressão, foi obtido o perfil de fissura para cada cimento (CP II, CP IV E CP V), com diferentes relações água/ligante analisado, de acordo com as figuras 08,09 e 10. Foi possível perceber, que para os blocos preparados com menor relação água/cimento, o espalhamento do material endurecido foi notório, em geral, para as relações 0,30 e 0,35. Já a relação 0,40, foi possível perceber que apesar do seu material se espalhar, algumas ficaram retidas na forma. Para as relações 0,45 e 0,50, eles seguiram um perfil de fissura “um caminho”, para o seu rompimento, porém não há espalhamento do seu material, eles ficam retidos na forma de ensaio.

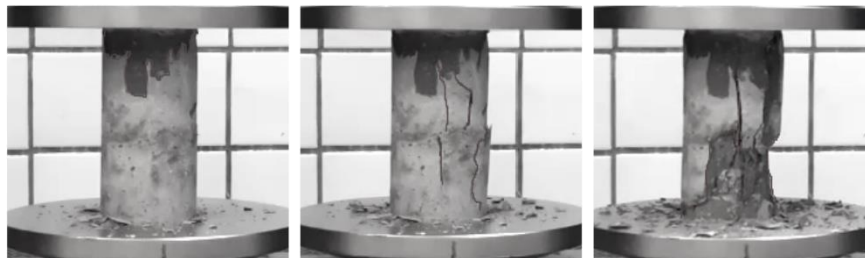


Figura 08. Perfil de fratura do CP II, a/c 0,30.

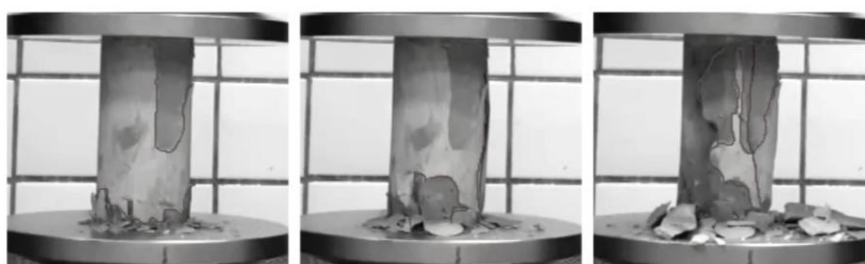


Figura 09. Perfil de fratura do CP IV, a/c 0,50.

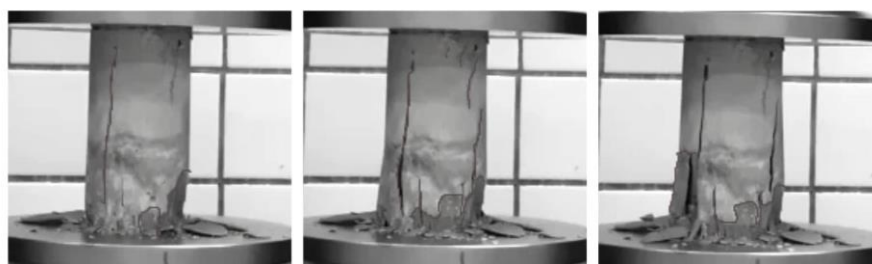


Figura 10. Perfil de fratura do CP V, a/c 0,40.

Para análise dos Perfis de fissuras de cada cimento, com suas determinadas relações água/cimento, acesse o link:

<https://drive.google.com/drive/folders/19PbLk0EXTNDTvzbsF3R2OSFH9L8av4Gn?usp=sharing>

## 1. Conclusão

Esse estudo é importante para que em obras, possamos analisar a qualidade do cimento, como que a quantidade de água presente, poderá influenciar em seu resultado final de misturas de pastas cimentícias, e conseqüentemente seu uso em argamassas e concretos. De acordo com os resultados obtidos pode -se observar que:

- O aumento da relação água/cimento diminui a densidade de massa da pasta de cimento fresca, assim como o teor e ar incorporado da mistura.
- O aumento da relação água/cimento, de modo geral, promoveu decréscimo da resistência à compressão da pasta de cimento endurecida.
- O perfil de fratura mudou conforme a houve mudança na relação água cimento.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, p.1-12. 2018.
- [2] P.-C. Aïtcin, C. Jolicoeur, J. G. MacGregor, Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't, *Concrete Int.* 16, 5 (1994) 45-52.
- [3] RAUCCI, J. S.; CECEL, R. T.; ROMANO, R. C. O.; PILEGGI, R. G.; JHON, V. M. **Effect of mixing method on the mini-slump spread of Portland cement pastes**. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v. 11; n. 2, p. 410-431, 2018.
- [4] P.-C. Aïtcin, C. Jolicoeur, J. G. MacGregor, Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't, *Concrete Int.* 16, 5 (1994) 45-52.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, p.1-12. 2019.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, p.5-8. 2005
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, p.5-8. 2017
- [8] TAY, Yi Wei Daniel; QIAN, Ye Qian; TAN, Ming Jen. **Composites Part B: Engineering. Printability region for 3D concrete printing using slump and slump flow test**, Singapore, v. 174, 31 maio 2019.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, p.1-2. 2016.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607: Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, p.1-4. 2017.
- [11] VICTOR, João. **Cimento Portland: composição, definição e propriedades**. [S. l.]: Guia da Engenharia, 27 jun. 2020. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/composicao-cimento-portland/>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- [12] FASCIO, Antônio. **Construção Civil Tipos de cimento**: confira suas aplicações e as variedades de produtos. [S. l.]: Papo de Engenheiro, 5 out. 2021. Disponível em: <https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/venha-conhecer-os-diferentes-tipos-de-cimento-e-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- [13] MOLINARI, Moarcy. **Aglomerantes: Cimento Portland**. In: MOLINARI, Moarcy. **Materiais de Construção: Cimento Portland**. 1-7. ed. Curitiba: Airton Maria, S/N. Disponível em: <http://www.airtonmaria.com/materiais-de-construcao/cimento-portland>. Acesso em: 13 nov. 2021.
- [14] CAMPOS, H.F; ROCHA, T.M.S; REUS, G.C; KLEIN, N.S; MARQUES FILHO, J. **Estruturas e Materiais. Determinação do teor ótimo de substituição do cimento Portland por pó de pedra usando métodos de empacotamento de partículas e análise do excesso de água na consistência de pastas**, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 221-232, 2018.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607: Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, p.1-4. 2017.