

## **Comportamento mecânico do concreto produzido com seixo misto utilizado na Cidade de Tucuruí**

### **Mechanical behavior of concrete produced with mixed pebble used in the City of Tucuruí**

DOI:10.34117/bjdv7n4-360

Recebimento dos originais: 07/03/2021

Aceitação para publicação: 14/04/2021

#### **Denilda Silva Costa**

Mestranda em Engenharia de Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento  
Energético – Universidade Federal do Pará  
Professora EBTT no Instituto Federal do Pará – IFPA  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: BR 422 s/n Tucuruí – Pará  
E-mail: denilda.costa@ifpa.edu.br

#### **Jaciara Santos Brandão**

Mestranda em Engenharia de Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento  
Energético – Universidade Federal do Pará  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: BR 422 s/n Tucuruí – Pará  
E-mail: jaciara.santosbrandao@gmail.com

#### **Allyson Corrêa Dias**

Engenheiro Civil  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: BR 422 s/n Tucuruí – Pará  
E-mail: Allyson.cdias@gmail.com

#### **Fernanda F. Lima**

Mestranda em Engenharia de Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento  
Energético – Universidade Federal do Pará  
Instituição: Universidade Federal do Pará  
Endereço: BR 422 s/n Tucuruí – Pará  
E-mail: fernandafonsecalima19@gmail.com

#### **Andréia Silva Costa**

Mestranda em Educação – Instituto Federal do Pará  
Engenheira Sanitarista e Ambiental  
Instituição: Instituto Federal do Pará – IFPA  
Endereço: rua Antônio Fulgêncio da Silva, s/n, Parque Universitário – Breves – Pará  
E-mail: andreia.costa@ifpa.edu.br

## RESUMO

O seixo misto (seixo com grande percentual agregado miúdo) é muito utilizado nas obras de pequeno e médio porte na cidade de Tucuruí no estado do Pará. As construtoras utilizam traços do tipo 1:4 como regra geral para preparação de concretos estruturais sem a adição de agregado miúdo e sem o uso de aditivos. Entretanto, apesar de ter agregado graúdo em sua composição, o material não pode ser caracterizado como agregado graúdo, de acordo com as normas brasileiras, pois na análise granulométrica apresenta 78,4% de sua composição com material miúdo, o que dificulta a dosagem de traços por métodos utilizados no Brasil. Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da análise granulométrica deste material, verificar a resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e absorção por imersão aos 7 e 28 dias do concreto executado com o traço 1:4, verificando se as resistências finais estão de acordo com os valores exigidos pelas normas brasileiras para concretos estruturais. Como resultado o seixo misto mostrou-se inapropriado para produção de concretos estruturais, pela baixa resistência mecânica e desempenho obtidos, sendo seus valores abaixo do mínimo exigido pelas normas brasileiras.

**Palavras-chave:** agregado graúdo, resistência mecânica, materiais, concreto.

## ABSTRACT

Mixed pebbles (pebbles with a large percentage of fine aggregate) are widely used in small and medium-sized projects in the city of Tucuruí in the state of Pará. Construction companies use 1:4 traces as a general rule for preparing structural concrete without adding of fine aggregate and without the use of additives. However, despite having coarse aggregate in its composition, the material cannot be characterized as coarse aggregate, according to Brazilian standards, because in the granulometric analysis it presents 78.4% of its composition with fine material, which makes it difficult to measure traces by methods used in Brazil. Thus, this work aims to present the results of the granulometric analysis of this material, concrete strength was determined using uniaxial compression tests, tensile strength, modulus of elasticity and absorption by immersion at 7 and 28 days of the concrete executed with the trace 1:4, checking if the final resistances are in accordance with the values required by Brazilian standards for structural concretes. As a result, the mixed pebble proved to be inappropriate for the production of structural concrete, due to the low mechanical resistance and performance obtained, its values being below the minimum required by Brazilian standards.

**keywords:** grade aggregate, mechanical resistance, materials, concrete.

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto ainda é o material mais utilizado em obras estruturais na construção civil, a determinação do tipo de concreto depende das características especiais de cada projeto, por isso, é necessário que ele apresente determinadas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. De acordo com Castro, Liborio e Pandolfelli (2011), a primeira escolha a ser feita na produção de uma mistura de concreto é o tipo de cimento a ser empregado, uma vez que, seu desempenho em termos de reologia e de

comportamento mecânico torna-se um item crítico à medida que a resistência à compressão desejada aumenta, pois, a reatividade dos componentes minerais do cimento com a água varia consideravelmente. É possível modificar as características de desenvolvimento da resistência de materiais contendo este ligante hidráulico pela simples alteração das proporções dos componentes do cimento. Além do cimento, a escolha dos agregados também influenciam nos resultados de desempenho dos concretos, desta forma, para que sejam verificadas as condições de aceitação e uso dos agregados para concretos a NBR 7211 (ABNT, 2009): Agregados para concretos – Especificações, estabelece que a distribuição granulométrica, determinada pela NBR NM 248 (ABNT, 2003): Agregados – Determinação da composição granulométrica, deve atender aos limites das zonas granulométricas, para que haja uma distribuição nos tamanhos dos grãos de forma a reduzir a quantidade de vazios nos concretos.

## 1.1 CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS NO ESTADO FRESCO

### 1.1.1 Trabalhabilidade

O concreto fresco é constituído pela mistura dos agregados miúdo e graúdo envolvidos pela matriz cimentícia, que é composta pela pasta de cimento e espaços cheios de ar, dessa forma, as características desejáveis para o concreto fresco são as que asseguram a obtenção de mistura de fácil transporte, lançamento e adensamento, sem segregação que, depois do endurecimento, se apresente homogênea, com o mínimo de vazios, pois os valores da resistência e de outras propriedades do concreto endurecido são limitados pelas características dessa matriz (BAUER, 2016).

Para Metha e Monteiro (2014), a trabalhabilidade pode ser determinada por um número de propriedades fundamentais da mistura fresca como: atrito interno, coesão, viscosidade, tensão de escoamento, fluidez e consistência que podem ser quantificadas através de ensaios como abatimento, fator de compactação, mesa de consistência. Um dos ensaios mais utilizados para verificar a consistência do concreto é o ensaio de cone de Abrams que quantifica o abatimento do concreto em um cone padronizado, para a realização do ensaio deve-se seguir as recomendações da NBR NM 67 (ABNT, 1998): Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, por ser de fácil execução este teste é realizado para o recebimento de concreto usinado e conferência da consistência necessária para o tipo de lançamento que será realizado.

### 1.1.2 Teor de argamassa

O teor de argamassa seca na mistura do concreto é um fator importante a ser quantificado durante o processo de dosagem, pois está diretamente ligado à sua coesão. É um valor dado em porcentagem, e que, baseado na lei de Lyse, é calculado pela Equação 1.

$$\alpha = \frac{1+a}{1+a+p} \cdot 100 (\%) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

$\alpha$  é o teor de argamassa seca;

$a$  é o valor da porção do traço referente a areia;

$p$  é o valor da porção do traço referente ao agregado graúdo.

O teor de argamassa pode influenciar na trabalhabilidade do concreto a depender dos tipos de agregados graúdo e miúdos utilizados, pois quanto maior a quantidade de agregado miúdo maior será o consumo de água na mistura, podendo resultar em menor desempenho mecânico do concreto devido a variação destes fatores. Santos (2014) estudou o desempenho de concretos em traços com mescla de brita 0 com brita 1 e traços apenas com brita 1 variando o teor de argamassa entre 51,8% e 45,8%. Para os concretos com a mescla de britas o resultado dos ensaios a resistência à compressão axial foi reduzida de acordo com que se reduziu o teor de argamassa, enquanto a resistência à tração foi elevada. Para os concretos apenas com brita 1 o resultado do desempenho foi o inverso, quanto menor o teor de argamassa maior a resistência à compressão e menor a resistência à tração. Para o autor, quando se reduz o teor de argamassa de um concreto este fica com um aspecto mais áspero, desta maneira espera-se que este tenha um ganho na resistência enquanto um concreto com um alto teor de argamassa tende a demandar mais água para manter a mesma trabalhabilidade. Para Martins (2008) em uma dosagem onde aumenta-se o teor de argamassa seca, através do aumento da proporção de brita, a superfície total dos grãos miúdos diminui, o que contribui para um melhor envolvimento dos grãos pela pasta e uma redução do atrito interno da mistura, conseqüentemente, o concreto fica mais plástico. Entretanto, se a quantidade de brita aumentar excessivamente, a falta de argamassa criará vazios na mistura permitindo o atrito direto das britas, resultando em grande perda da plasticidade com dificuldades para o adensamento. Quantidades excessivas de areia aumentam demasiadamente a coesão da mistura e dificultam o lançamento e adensamento do concreto nas fôrmas, demandam maior

quantidade de água, além de aumentarem o consumo de cimento, por isso, é importante o estudo da granulometria dos agregados tendo-se como objetivo a utilização de materiais que tenham suas curvas granulométricas dentro dos limites exigidos pelas normas brasileiras.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

### 1.2.1 Resistência à compressão axial

A resistência à compressão é a propriedade que normalmente é especificada em projetos e controle de qualidade do concreto devido à fácil execução do ensaio e por apresentar como resultado a tensão máxima necessária para causar a ruptura, o ensaio é realizado seguindo as instruções da NBR 5739 (ABNT, 2018): Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

A NBR 12655 (ABNT, 2015): Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento, estabelece que a composição dos concretos da classe C20 ou superior devem ser realizadas através de dosagem racional e experimental, a fim de obter-se os traços apropriados para a produção com as resistências características definidas para o projeto, pois a depender dos materiais disponíveis o desempenho mecânico dos concretos podem variar, visto que diversos fatores influenciam na resistência à compressão (Figura 1).

**Figura 1.** Fatores que interferem na resistência à compressão do concreto. (Metha e Monteiro. (2014)).



A NBR 12655 (ABNT, 2015) estabelece que a resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade preexistentes durante a construção e é medida pelo desvio-padrão,  $sd$ , através da Equação 2.

$$f_{ctmj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot sd \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$f_{ctmj}$  é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de  $j$  dias, expressa em megapascals (MPa);

$f_{ckj}$  é a resistência característica do concreto à compressão, aos  $j$  dias, expressa em megapascals (MPa);

$sd$  é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa) e definido a partir da Tabela 6 da NBR 12655 (ABNT, 2015).

A NBR 6118 (ABNT, 2014): Concreto – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, estabelece que a resistência de cálculo do concreto ( $f_{cd}$ ) deve ser feita através da Equação 3, e, quando a obra for executada os corpos de prova devem ser rompidos aos 28 dias para conferir o valor do  $f_{ck}$  obtido *in loco*.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$f_{cd}$  é a resistência de cálculo do concreto, em megapascals (MPa);

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias, em megapascals (MPa);

$\gamma_c$  é o coeficiente de ponderação das resistências no estado-limite último (ELU) definidos na Tabela 12.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

### 1.2.2 Resistência à tração

Apesar de não ser a principal propriedade do concreto em seu estado endurecido, devido a resistência à tração do concreto ser muito inferior à sua resistência à compressão, é necessária a realização de ensaios para que seja quantificada. Em concretos armados, a função de tração é realizada pelas barras de aço que são dimensionadas e posicionadas nas regiões tracionadas das peças. Entretanto, em determinadas estruturas, como pavimentos de rodovias e aeroportos, há a predominância de solicitações de tração na

flexão, e, quando esgotada a capacidade de tração do concreto, ocorrem o surgimento das primeiras fissuras.

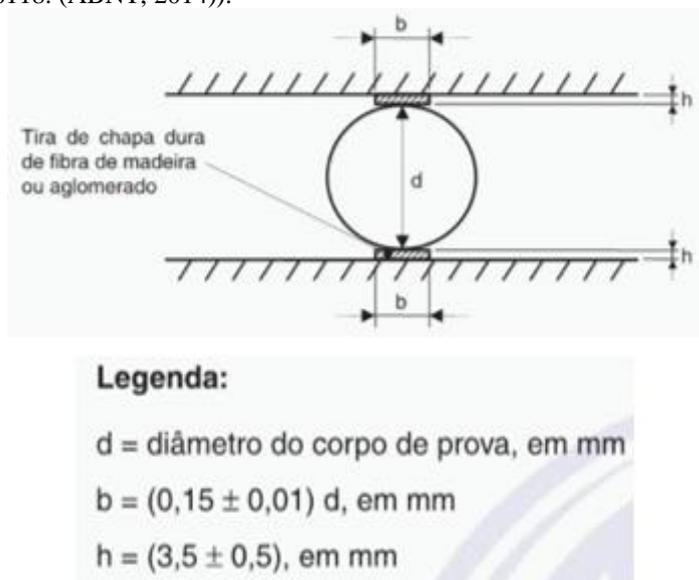
A quantificação dos valores da resistência à tração do concreto pode ser realizada através de três ensaios: tração por compressão diametral ou tração indireta ( $f_{ct,sp}$ ), seguindo as recomendações da NBR 7222 (ABNT, 2011): Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos; tração na flexão ( $f_{ct,f}$ ), através da NBR 12142 (ABNT, 2010): Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos; e tração direta ( $f_{ct}$ ), que não possui norma brasileira específica, mas de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) pode ser obtida através da Equação 4 e Equação 5, quando forem realizados os ensaios de tração por compressão diametral ou o de tração na flexão.

$$f_{ct} = 0,9 \cdot f_{ct,sp} \quad \text{Equação (4)}$$

$$f_{ct} = 0,7 \cdot f_{ct,f} \quad \text{Equação (5)}$$

No Brasil o método mais utilizado, devido a simplicidade de execução e por apresentar resultados consistentes, é o ensaio de tração por compressão diametral. A maneira como o corpo de prova é posicionado na prensa para a realização do ensaio, onde é obtido o valor da carga máxima para a ruptura, é apresentada na Figura 2. O valor da resistência à tração por compressão diametral é então calculado através da Equação 6.

Figura 2. Posicionamento do corpo de prova na prensa para realização do ensaio de tração por compressão diametral. (NBR 6118. (ABNT, 2014)).



$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot l} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$f_{ct,sp}$  é a resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

$F$  é a força obtida no ensaio, em Newtons;

$d$  é o diâmetro do corpo de prova em mm;

$l$  é o comprimento do corpo de prova em mm.

### 1.2.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade por definição é a razão entre a tensão aplicada sobre um corpo e a deformação específica imediatamente verificada. De acordo com a lei Hooke, alguns materiais seguem uma proporcionalidade independente da tensão aplicada, entretanto, o concreto não apresenta comportamento linear, dessa forma, esta proporcionalidade é válida até determinada tensão, que varia de acordo com as características do concreto, a esta fase, onde há proporcionalidade, denomina-se fase elástica, onde o estado do concreto volta ao normal quando as tensões são retiradas. Quando a razão entre as tensões e as deformações não são mais proporcionais as deformações apresentadas pelo concreto serão permanentes e denomina-se fase plástica do concreto. O módulo de elasticidade, então, representa a capacidade que o concreto terá de se deformar e retornar ao seu estado inicial, seja para deformações imediatas ou deformações por fadiga. (PACHECO et al, 2014).

Para o dimensionamento das estruturas a NBR 6118 (ABNT, 2014) define dois tipos de módulos, o módulo estático de elasticidade tangente inicial da curva tensão-deformação,  $E_{ci}$ , e o módulo estático de elasticidade secante,  $E_{cs}$ . Os valores dos módulos de elasticidades podem ser obtidos através de ensaios seguindo as recomendações da NBR 8522 (ABNT, 2017): Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão ou através da Equação 7 e Equação 8, para o  $E_{ci}$ , e da Equação 9 e Equação 10, para o  $E_{cs}$ , quando não for possível a realização dos ensaios.

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{para } f_{ck} \text{ de 20MPa a 50 MPa} \quad \text{Equação (7)}$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25\right)^{7/3} \quad \text{para } f_{ck} \text{ de 55 MPa a 90 MPa} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

$\alpha_E = 1,2$  para basalto e diabásio;

$\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaiss;

$\alpha_E = 0,9$  para calcário;

$\alpha_E = 0,7$  para arenito;

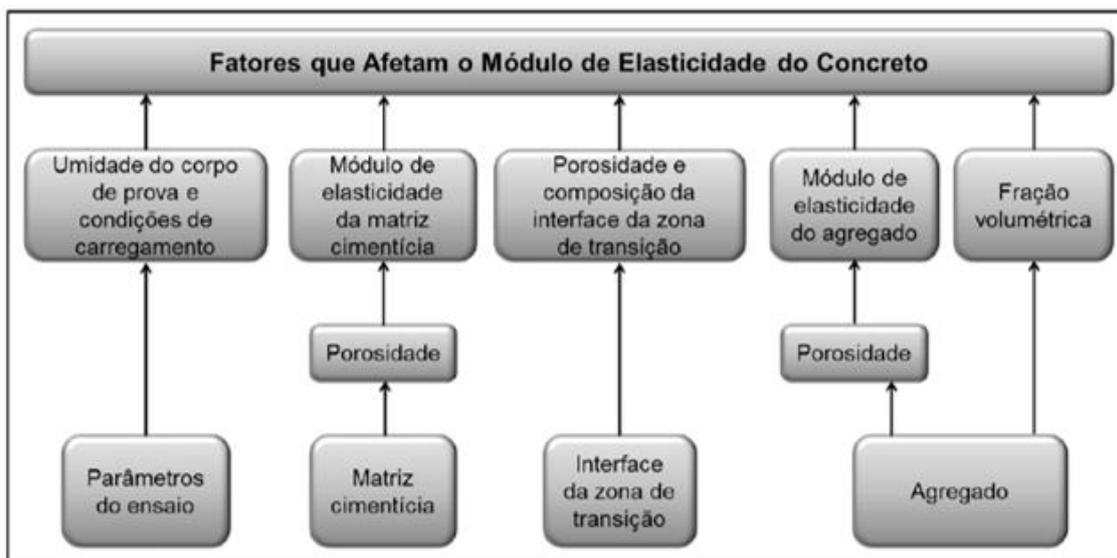
$E_{ci}$  e  $f_{ck}$  são dados em megapascals (MPa).

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad \text{Equação (9)}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad \text{Equação (10)}$$

Metha e Monteiro (2014) estudaram o módulo de elasticidade dos concretos e chegaram à conclusão de que vários fatores afetam o módulo de elasticidade e resumiram estes fatores no diagrama apresentado na Figura 3.

Figura 3. Fatores que interferem no módulo de elasticidade do concreto. (Metha e Monteiro. (2014))



### 1.2.4 Absorção

Para concretos estruturais a porosidade é uma característica que deve ser evitada, uma vez que os poros do concreto são meios de transportes para agentes agressivos que, em estruturas armadas, levam à corrosão das armaduras reduzindo a durabilidade dos elementos. O concreto possui em seus poros uma solução de elevada alcalinidade que proporciona um meio adequado para a formação de uma camada de óxidos fina, compacta e aderente na superfície da armadura, que, enquanto manter-se básica e for isenta de

agentes agressivos protegerá a armadura. Dessa forma, o concreto deve manter a estabilidade química da solução intrínseca e servir de barreira a penetração de íons de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), pois ambos promovem reações químicas que levam a despassivação das armaduras. O transporte destes agentes agressivos para o interior do concreto se dá principalmente por mecanismos de absorção capilar, permeabilidade e difusão, podendo ainda ocorrer migração iônica no caso da penetração de cloretos. (SATO, 1998).

A taxa de transporte de agentes agressivos por meio da absorção e permeabilidade é governada pela taxa de penetração de água, ou seja, é através da umidade que os agentes agressivos são transportados para o interior do concreto. A mudança na estrutura do espaço poroso pode ser feita tanto por meio da diminuição do volume total de vazios como também com modificações na distribuição de tamanho de poros. O desenvolvimento do espaço poroso do concreto não depende somente da sua composição, mas, também, das condições de cura e de exposição. O valor da absorção é obtido através de ensaio seguindo as recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2009) – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, foram ensaiados 18 corpos de prova de concreto compostos por cimento CII-E 32, seixo misto e água. Inicialmente, foram realizados ensaios de caracterização dos agregados para identificação da composição granulométrica e das propriedades físicas seguindo as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003) e a NBR 7211 (ABNT, 2009), pois tais características são necessárias para a escolha do método de dosagem do concreto.

Devido à grande quantidade de material fino que o seixo misto apresentou, passantes pela peneira 4,75mm e retido na 0,15mm, não foi possível utilizar métodos de dosagem indicados na literatura, optou-se então por testar um traço único de 1:4 (uma parte de cimento para quatro partes de seixo misto), sendo este um traço empírico utilizado pelos mestres de obras da cidade de Tucuruí para a execução de fundações, pilares, vigas e lajes em obras de pequeno e médio porte.

Seguindo as recomendações da NBR 6118 (ABNT, 2014), deve-se considerar para projetos estruturais na cidade de Tucuruí a classe de agressividade ambiental II, ambiente urbano e com pequeno risco de deterioração. A partir da definição da classe de

agressividade utilizou-se como referência a Tabela 7.1 da mesma norma para definir a classe de resistência do concreto, sendo esta C25, na qual, a resistência característica do concreto deve ser maior ou igual a 25 MPa para os elementos estruturais. Na mesma tabela é definido o valor máximo da relação água cimento, que para a classe de agressividade II e para a classe de resistência C25 deve ser menor ou igual 0,60.

Após as definições do traço, o seixo misto foi seco e pesado para iniciar-se a produção do concreto. Foram utilizados 50kg de seixo misto, 12,5kg de cimento CII – E 32 e 7,375L de água, tendo-se o traço final 1:4, não foi utilizado aditivos plastificantes.

O concreto foi produzido com a utilização de uma betoneira, foi colocado parte do agregado misto com parte da água e iniciado o processo de mistura, em seguida foi adicionado o cimento enquanto o restante da água foi sendo adicionado aos poucos de modo a obter-se valores de abatimento entre 100mm e 160mm, limites informados para concretos com consistência no estado fresco para aplicação em elementos estruturais com lançamento manual na NBR 8953 (ABNT, 2015): Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupo de resistência e consistência.

O abatimento foi verificado através do ensaio de tronco de cone seguindo as recomendações da NBR NM 67 (ABNT, 1998), o cone foi molhado e em seguida apoiado sobre placa metálica em piso reto, o concreto foi colocado dentro do cone em 3 camadas, cada camada foi adensada com 25 golpes distribuídos uniformemente com haste de compactação padronizada pela norma. Após o adensamento da terceira camada o molde foi retirado lentamente e em seguida foi medido o abatimento.

Foram utilizados 12 moldes cilíndricos com dimensões 10cmx20cm e 6 moldes cilíndricos de 15cmx30cm, os corpos de provas foram utilizados para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples (NBR 5739, ABNT, 2018), resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222, ABNT 2011), módulo de elasticidade (NBR 8522, ABNT, 2017) e absorção por imersão (NBR 9778, ABNT, 2009).

Os corpos de prova foram moldados de acordo com as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2016), para os corpos de prova de 10cmx20cm, o concreto foi colocado dentro dos moldes em 2 camadas, o adensamento manual foi realizado através de 12 golpes com haste padronizada em cada uma das camadas. Para os corpos de prova de 15cmx30cm o concreto foi colocado em 3 camadas, cada uma delas foi adensada manualmente através de 25 golpes com a haste padronizada, 24h após a execução todos os corpos de prova foram colocados em câmara úmida para processo de cura até a data da realização dos ensaios aos 7 e 28 dias (Tabela 1).

**Tabela 1.** Diagrama de Dosagem – quantidade de corpos de prova por ensaio

Agregado graúdo utilizado	Seixo Misto	
	1:4	
Data de Ruptura (dias)	7	28
Resistência à compressão simples	3	3
Resistência à tração por compressão diametral	3	3
Módulo de Elasticidade	-	3
Absorção por Imersão	-	3
<b>TOTAL DE CPs</b>	<b>18</b>	

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E GRANULOMÉTRICAS DO AGREGADO

A curva granulométrica obtida no ensaio de granulometria do seixo misto é apresentada na Figura 4.

**Figura 4.** Curva Granulométrica do seixo misto. (Autores, (2018))



O material apresentou uma quantidade elevada de finos, com 78,4% do material passando pela peneira 4,75mm, isto impossibilitou utilizar métodos conhecidos de dosagem. A forma como utilizam este material na cidade de Tucuruí, sem prévio estudo de dosagem, pode resultar em falha executiva, uma vez que, este agregado não apresenta proporções adequadas na quantidade de agregado graúdo e miúdo, nem distribuição granulométrica dentro das faixas limites permitidas pela NBR 7211(ABNT, 2009), podendo resultar também em baixa resistência mecânica e não chegar aos valores mínimos exigidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) para concretos estruturais. As principais propriedades físicas obtidas nos ensaios de caracterização do seixo misto são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Propriedades Físicas do Seixo misto

Ensaio (Seixo misto)	Valores Obtidos
Diâmetro Máximo Característico (NBR NM 248 (ABNT, 2003))	19 mm
Módulo de Finura (NBR NM 248(ABNT, 2003))	3,82
Massa Específica Aparente (NBR NM 53 (ABNT, 2009))	2,63 g/cm <sup>3</sup>
Absorção (NBR 9778, ABNT, 2009)	1,91

### 3.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

A consistência é umas das principais características do concreto no estado fresco, o ideal é que se consiga uma trabalhabilidade que assegure a obtenção de mistura de fácil transporte, lançamento e adensamento, sem segregação, e que, depois do endurecimento, se apresente homogênea, com o mínimo de vazios.

Para o traço em estudo, preparado com seixo misto, conseguiu-se um abatimento de 130mm com a relação água cimento no valor de 0,59. Apesar do valor estar dentro dos limites para concretos com  $f_{ck}$  de 25MPa e consistência para aplicação em elementos estruturais com lançamento manual, observou-se que a mistura necessitou de uma elevada quantidade de água, pois o seixo misto apresenta muitos finos e absorve grande quantidade de água. Além disso, durante a execução dos corpos de prova foi possível verificar que a mistura tinha um elevado teor de argamassa, isto pode resultar em concretos com menor resistência devido à falta de agregados graúdos resistentes e com distribuição granulométrica uniforme.

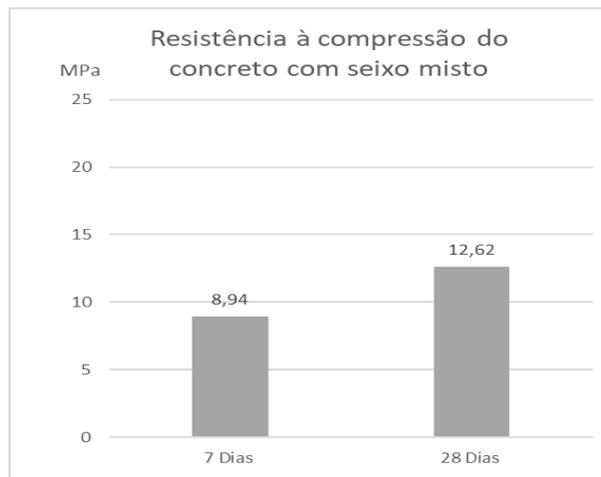
O concreto produzido a partir do traço estudado teve um teor de argamassa no valor de 82,72%, calculado a partir da Equação 1, dada pela lei de Lyse, demonstrando a presença de elevada quantidade de agregados miúdo. Transformando o traço 1:4 em partes de areia e agregado graúdo proporcionalmente as porcentagens retidas nas peneiras, teria o seguinte traço 1:3,14:0,86 (cimento, areia e seixo), um traço com pouca quantidade de agregado graúdo que pode resultar em baixos valores de resistência mecânica.

### 3.3 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

#### 3.1.1 Resistência à compressão axial

Na Figura 5 são apresentados os valores médios da resistência à compressão obtidos em ensaios aos 7 e 28 dias com 3 corpos de prova em cada ensaio.

Figura 5. Resistência à Compressão Simples aos 7 dias e aos 28 dias. (Autores. (2018))



O concreto produzido com seixo misto apresentou resistência à compressão muito baixa, tanto aos 7 dias como aos 28 dias. A relação a/c utilizada foi no limite do permitido pelas normas brasileiras para o tipo de concreto desejado para a utilização em elementos estruturais com classe ambiental II e  $f_{ck}$  de 25MPa. O traço em estudo é o traço utilizado em obras da cidade de Tucuruí, todavia observou-se que ele não pode ser classificado como concreto estrutural.

A baixa resistência apresentada pelos corpos de prova deve-se a grande quantidade de finos no agregado, um traço desequilibrado quanto ao teor de argamassa, que é elevado, porém pobre, pois a quantidade de cimento em relação a proporção de agregados miúdos promove um material fraco quanto à resistência, podendo-se comparar com argamassas para reboco ou em emboço, quando a relação cimento/agregado miúdo é baixa. Além disso, devido à elevada absorção do material, a água utilizada na mistura pode ser absorvida pelo agregado dificultando o processo de hidratação do cimento não realizando todas as reações químicas necessárias durante o processo de cura.

### 3.1.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral ( $f_{ct,sp}$ )

Na Figura 6 são apresentados os valores das resistências à tração aos 7 e 28 dias.

Figura 6 - Resistência à Tração aos 7 dias e aos 28 dias. (Autores. (2018))



O concreto com seixo misto apresentou bom desempenho neste requisito, com valor de 2,6 MPa, resultado semelhante ao valor obtido pelo cálculo para o  $f_{ctm}$  seguindo a Equação da NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 8.2.5 da norma para um concreto com 25MPa. Entretanto, em comparação com o valor da resistência à compressão o resultado não representa uma relação que se costuma ter entre as resistências de compressão e tração, como quando se calcula o  $f_{ctm}$  com o  $f_c$  de 12,62MPa obtido em ensaio, o valor esperado seria em torno de 1,4 MPa.

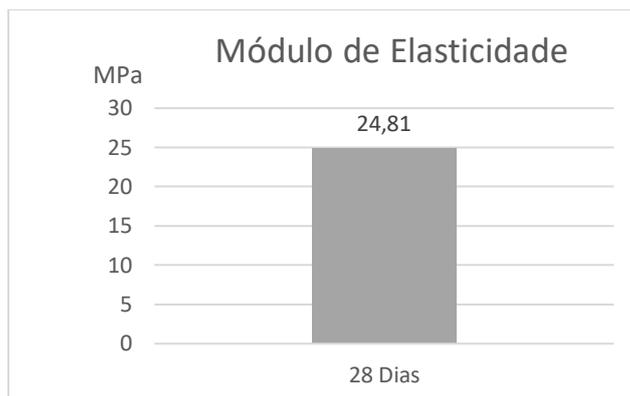
Essa discrepância entre os resultados pode ser explicada pela afirmação de Santos (2014) de que o consumo de cimento, a relação água/cimento, o teor de argamassa, o tipo de rompimento (seco saturado), a composição granulométrica dos agregados (britas 0-1, areias naturais e artificiais) e adição de fibras, alteram significativamente a relação entre compressão e tração, assim, devido ao concreto com seixo misto não ter boa composição granulométrica, um teor de argamassa elevado, entre outras características, isso levou ao resultado obtido.

### 3.1.3 Módulo de Elasticidade

De acordo com os estudos de Metha e Monteiro (2014), esta propriedade é afetada por diversos fatores inerentes aos parâmetros de ensaio, condições da matriz cimentícia, interface da zona de transição e módulo de elasticidade do próprio agregado, e reflete a capacidade de deformação do concreto frente às solicitações mecânicas, isto é, quanto maior o módulo de elasticidade do concreto maior a resistência às deformações frente aos carregamentos.

O resultado do ensaio para obtenção do valor do módulo de elasticidade foi realizado aos 28 dias obtendo-se o valor apresentado na Figura 7.

Figura 7. Módulo de Elasticidade aos 28 dias (Autores. (2018)).



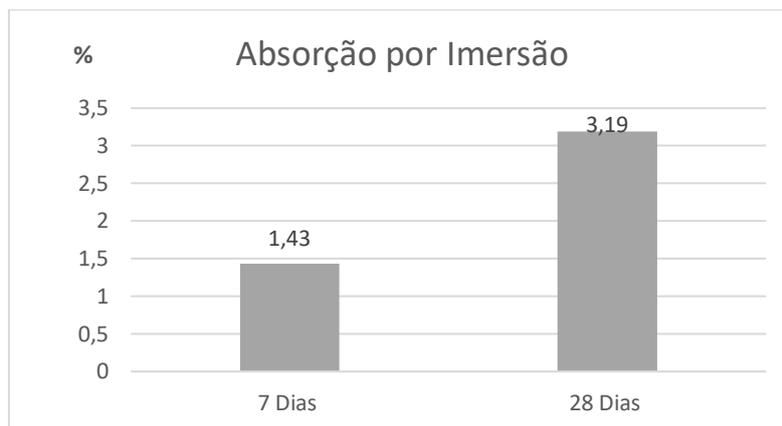
Não foram realizados ensaios para obtenção do módulo de elasticidade do agregado, entretanto, sabe-se que o módulo de elasticidade do concreto está diretamente ligado ao do agregado graúdo. Por ter pequena quantidade deste material na mistura, e este apresentar baixa qualidade refletiu em um baixo valor do módulo de elasticidade do concreto para o traço estudado, atingindo 24,81MPa aos 28 dias (Figura 7). Entretanto, mesmo sendo um valor baixo quando comparado aos valores de módulos de elasticidade de concretos estruturais executados com outros tipos de agregados graúdos, este manteve-se dentro do limite mínimo indicado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) que é de 24MPa para o  $E_{cs}$  de um concreto de 25MPa para cálculos e dimensionamento de estruturas de concreto armado quando não há ensaios para obtenção deste valor.

Utilizando a Equação 7 para o cálculo do  $E_{ci}$  e usando o  $f_{ck}$  obtido em ensaio de 12,62MPa obteve-se o valor de  $E_{ci} = 23,87\text{MPa}$ , demonstrando que a equação da norma apresenta valores compatíveis com o experimental, mesmo a equação sendo apenas para concretos entre 20MPa e 50MPa.

### 3.1.4 Absorção por Imersão

Os resultados obtidos no ensaio de absorção por imersão aos 7 e 28 dias estão apresentados na Figura 8.

**Figura 8.** Absorção por Imersão aos 7 e 28 dias (Autores. (2018)).



O valor elevado para a absorção demonstra a presença de poros no concreto, pelos quais, podem ocorrer a entrada de agentes agressivos, como íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) entre outras, que podem provocar a corrosão das armaduras nos concretos armados. Dessa forma, entende-se que o concreto em estudo deve ter menor relação a/c, pois este é um dos principais fatores para o surgimento de poros no concreto, além da alteração nas proporções dos agregados, que, por ter muito material miúdo, demanda maior quantidade de água e não tem distribuição granulométrica que promova o empacotamento, elevando a quantidade de poros no concreto.

Descarta-se que neste trabalho a presença de poros não foi devido ao processo de cura, uma vez que, não foi curado ao ar e sim em câmara úmida dentro das prerrogativas indicadas pela ABNT NBR 5738 (2016).

#### 4 CONCLUSÃO

A expectativa inicial de ter-se um concreto com 25MPa a partir do traço 1:4 sem a utilização de aditivos, levou a uma utilização do máximo permitido de água para ter-se uma trabalhabilidade dentro do indicado pela norma para o tipo de manuseio e adensamento que normalmente são realizados na cidade de Tucuruí. A quantidade de água influenciou no resultado final do concreto, com uma resistência à compressão de apenas 12,62 MPa aos 28 dias.

Para elevar a resistência característica a partir do mesmo traço dever-se-ia reduzir a relação a/c e utilizar aditivos plastificantes em traços experimentais, este produto é necessário para que possa ser obtida a consistência ideal com menor quantidade de água. Os ensaios deveriam acontecer até alcançar-se um traço com resultados de resistência à compressão acima dos 20MPa, valor indicado por norma para concretos estruturais, visto

que, este é um dos materiais mais utilizados na cidade em construções de pequeno e médio porte.

Observou-se também que a quantidade de materiais miúdos na composição do agregado afeta diretamente na resistência, pois não há distribuição gradual e uniforme dos grãos. Além disso, por apresentar 78,4% de material miúdo o concreto teve um teor de argamassa elevado, que leva ao aumento do consumo de água.

Outra forma de obter-se a resistência necessária seria através do peneiramento do seixo misto, separando a parte graúda da miúda, para que, a partir daí, o traço fosse obtido através de métodos de dosagem que consideram as características de cada um dos tipos de agregados separadamente. Entretanto, financeiramente esta opção não é viável, pois para ter-se quantidades equivalentes de agregado graúdo a partir do seixo misto seria necessária uma elevada quantidade de material adquirido, visto que, este representa apenas 20% do total, isto levaria a um desperdício de agregado miúdo.

Apesar da baixa qualidade do agregado utilizado, a resistência à tração ficou dentro dos valores esperados para um concreto de 25MPa e um valor elevado para um concreto de 12,62MPa, entretanto, esta não é uma característica que permita que este concreto seja utilizado em construções de pequeno e médio porte, pois em geral, esta função é feita pelas armaduras dimensionadas para resistir aos esforços de tração.

Quanto ao módulo de elasticidade, o valor apresentado foi baixo, isto demonstra que este concreto não deve ser utilizado em construções que demandem alta deformabilidade ou que tenham elevadas cargas, que ao longo do tempo provoquem a deformação lenta da estrutura (fluência) como a utilização em construções altas, pois poderiam provocar a ruptura das estruturas dos pavimentos mais carregados.

Os valores de absorção demonstraram que há presença de poros no concreto, indicando mais uma vez que a quantidade de água utilizada na mistura foi elevada.

Assim, após análise dos resultados, pode-se afirmar que este traço não deve ser utilizado para obtenção de concretos estruturais, sendo necessário novos estudos de dosagem a fim de ter-se um traço que consiga atingir a resistência característica exigida pelas normas brasileiras. Como na cidade existe apenas este material e o seixo lavado para ser utilizado como agregado graúdo nas construções, pois não há empresas que produzam agregado industrializado, sugere-se também que seja realizado um estudo nas estruturas das obras que utilizaram este material como agregado para concreto estrutural, através de ensaios não destrutivos para verificação e checagem dos valores de resistência.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53:** Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:** Concreto – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificações. 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 8522:** Concreto — Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953:** Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupo de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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 12142:** Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655:** Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BAUER. L.A.F.; **Materiais de Construção**. Vol.1. 5ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CASTRO, A. L.; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v. 57, p. 10-21, jul-dez, 2018.

MARTINS, Danilo Gomes; **Influência do tamanho do corpo de prova nos resultados de ensaios de módulos de deformação e resistência à compressão e suas correlações para concretos produzidos em Goiânia – GO**. 2008, 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2008.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, J. M. Paulo. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEHTA, P.K. & MONTEIRO, P.J.M. **Concrete: microstructure, properties, and materials**. New York: McGraw-Hill. 2014.

PACHECO, J.; BILESKEY, P.; MORAIS, T. R.; GRANDO, F.; HELENE, P. Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56, 2014, Natal. **Anais do 56CBC2014**. Natal: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, 2014. P. 1-14.

SANTOS, Ícaro Mariani Ribeiro dos; **Estudo de dosagens de concreto para aumento da resistência à tração na flexão**. 2014, 75p. Monografia (Especialização em Patologia das Construções) – Departamento de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2014.

SATO, Neide Matiko Nakata; **Análises da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. 1998, 163p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.