

INSTITUTO FEDERAL DO SERTÃO PARAIBANO  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

ITALO VIEIRA VIDAL

**SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR AGREGADO  
MIÚDO ARTIFICIAL EM CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS: ESTUDO DE CASO NO  
REVESTIMENTO DO CANAL DO RAMAL APODI**

Cajazeiras-PB  
2026

ITALO VIEIRA VIDAL

**SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR AGREGADO  
MIÚDO ARTIFICIAL EM CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS: ESTUDO DE CASO NO  
REVESTIMENTO DO CANAL DO RAMAL APODI**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
à Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal do  
Sertão Paraibano, *Campus* Cajazeiras, como  
parte dos requisitos para a obtenção do Título  
de Engenheiro Civil sob Orientação do Prof.  
Joseneto de Souza.

Cajazeiras-PB  
2026

IFSertãoPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

---

V648s Vidal, Italo Vieira.  
Substituição total do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial em concretos não estruturais : estudo de caso no revestimento do canal do ramal Apodi / Italo Vieira Vidal.– 2026.

36f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Paraibano, Cajazeiras, 2026.

Orientador(a): Prof. Joseneto de Souza.

1. Construção civil. 2. Agregado de concreto artificial. 3. Revestimento. 4. Transposição do Rio São Francisco. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFSertão  
PB/CZ

CDU: 624(043.2)

---

ITALO VIEIRA VIDAL

**SUBSTITUIÇÃO TOTAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR AGREGADO  
MIÚDO ARTIFICIAL EM CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS: ESTUDO DE CASO NO  
REVESTIMENTO DO CANAL DO RAMAL APODI**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal dos  
Sertão Paraibano-Campus Cajazeiras, como  
parte dos requisitos para a obtenção do Título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 04 de agosto de 2026.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **JOSENETO DE SOUZA**  
Data: 24/08/2026 16:25:15-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Joseneto de Souza – IFSertãoPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **BRUNO DE MEDEIROS SOUZA**  
Data: 24/08/2026 21:32:33-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Bruno de Medeiros Souza – IFSertãoPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Documento assinado digitalmente  
 **CAIO FRANKLIN VIEIRA DE FIGUEIREDO**  
Data: 24/08/2026 21:54:18-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Dr. Caio Franklin Vieira de Figueiredo – IFRN  
Examinador 2

Dedico este trabalho a Deus, por suas infinitas bênçãos e por me sustentar em todos os momentos. À minha esposa, Suzane, pelo amor, companheirismo e incentivo constante. Aos meus pais, pelo exemplo, dedicação e por sempre acreditarem em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder saúde, força, sabedoria e determinação para superar os desafios enfrentados durante a graduação e tornar possível a conclusão desta importante etapa da minha vida.

À minha esposa, Suzane, minha pequena, pelo seu amor, incentivo, compreensão e apoio em todos os momentos. Sua presença foi essencial para que eu permanecesse motivado durante toda essa caminhada.

Aos meus pais e familiares, pelo apoio, pelos ensinamentos e pelos valores transmitidos ao longo da vida, que contribuíram diretamente para minha formação pessoal e profissional.

Ao meu orientador, pela disponibilidade, orientação e conhecimentos compartilhados, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do Curso de Engenharia Civil do IF SertãoPB – *Campus* Cajazeiras, pelos ensinamentos, pela dedicação e pela contribuição para minha formação acadêmica.

À empresa onde foi desenvolvido o estudo de caso, pela disponibilização dos dados e informações que possibilitaram a realização desta pesquisa, bem como aos profissionais que colaboraram durante sua execução.

Aos amigos e colegas de curso, pela convivência, troca de experiências e apoio mútuo ao longo da graduação.

## RESUMO

A crescente demanda por agregados na construção civil e as restrições ambientais relacionadas à extração de areia natural têm impulsionado a busca por materiais alternativos para a produção de concreto. Nesse contexto, este trabalho analisa a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial nos concretos não estruturais utilizados no revestimento do canal do Ramal Apodi, integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco. A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, de natureza aplicada, desenvolvido a partir de dados obtidos durante o controle tecnológico da obra. Foram analisados os resultados da caracterização física e granulométrica dos agregados, as dosagens dos concretos e os ensaios de resistência à compressão de dois traços produzidos com agregados distintos, porém destinados à mesma aplicação. Os resultados indicaram que o agregado miúdo artificial apresentou propriedades compatíveis com as exigências normativas, permitindo sua utilização sem alterações significativas nos principais parâmetros de dosagem. Embora o concreto produzido com areia natural tenha alcançado resistências à compressão ligeiramente superiores, ambos os traços superaram a resistência característica de projeto, demonstrando desempenho satisfatório para o revestimento do canal. Além dos aspectos técnicos, verificou-se que a utilização do agregado artificial favorece o aproveitamento de materiais produzidos na própria obra, reduz a dependência da extração de areia natural e contribui para a otimização logística do empreendimento. Conclui-se que, nas condições avaliadas, a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial mostrou-se tecnicamente viável para concretos não estruturais empregados em obras de infraestrutura hídrica semelhantes.

**Palavras-chave:** britagem; controle tecnológico; dosagem de concreto; resistência à compressão; infraestrutura hídrica.

## ABSTRACT

The growing demand for aggregates in the construction industry, combined with environmental restrictions on natural sand extraction, has encouraged the search for alternative materials for concrete production. In this context, this study analyzes the replacement of natural fine aggregate with manufactured fine aggregate in non-structural concrete used for the lining of the Apodi Branch Canal, part of the São Francisco River Integration Project. The research was conducted as an applied case study based on data obtained from the project's quality control program. The analysis included the physical and granulometric characterization of the aggregates, concrete mix designs, and compressive strength test results for two concrete mixtures produced with different fine aggregates but intended for the same application. The results showed that the manufactured fine aggregate met the applicable technical requirements and could be incorporated into the concrete without significant changes to the main mix design parameters. Although the concrete produced with natural sand achieved slightly higher compressive strength values, both mixtures exceeded the specified design strength, demonstrating satisfactory performance for canal lining applications. In addition to the technical aspects, the use of manufactured fine aggregate promoted the utilization of materials produced on-site, reduced dependence on natural sand extraction, and contributed to improvements in the project's logistics and material management. It is concluded that, under the conditions evaluated, the replacement of natural fine aggregate with manufactured fine aggregate is a technically feasible alternative for non-structural concrete used in hydraulic infrastructure projects.

**Keywords:** manufactured aggregates; quality control; concrete mix design; compressive strength; hydraulic infrastructure.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Traçado do Ramal Apodi.....                                             | 25 |
| <b>Figura 2</b> - Fluxograma metodológico. ....                                           | 28 |
| <b>Figura 3</b> - Gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo natural. ....         | 30 |
| <b>Figura 4</b> - Gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo artificial.....       | 32 |
| <b>Figura 5</b> - Gráfico de resistência à compressão dos concretos aos 7 e 28 dias. .... | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Resumo dos resultados do agregado miúdo natural. ....    | 30 |
| <b>Tabela 2</b> - Resumo dos resultados do agregado miúdo artificial. .... | 31 |
| <b>Tabela 3</b> - Traços analisados no estudo. ....                        | 33 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                         |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                 | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>                                                   | <b>14</b> |
| 2.1      | OBJETIVO GERAL.....                                                     | 14        |
| 2.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                             | 14        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                       | <b>15</b> |
| 3.1      | CONCRETO .....                                                          | 15        |
| 3.2      | AGREGADOS PARA CONCRETO.....                                            | 16        |
| 3.3      | AGREGADO MIÚDO NATURAL.....                                             | 18        |
| 3.4      | AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL.....                                          | 19        |
| 3.5      | CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS EMPREGADOS NO REVESTIMENTO DE<br>CANAIS ..... | 21        |
| 3.6      | PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO E O RAMAL APODI ..           | 22        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                                                | <b>24</b> |
| 4.1      | CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....                                        | 24        |
| 4.2      | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....                                  | 25        |
| 4.3      | MATERIAIS .....                                                         | 26        |
| 4.4      | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....                                        | 27        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                     | <b>29</b> |
| 5.1      | CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS .....                               | 29        |
| 5.1.1    | Caracterização da areia natural .....                                   | 29        |
| 5.1.2    | Caracterização do agregado miúdo artificial .....                       | 31        |
| 5.2      | ANÁLISE DAS DOSAGENS DOS CONCRETOS.....                                 | 32        |
| 5.3      | ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À<br>COMPRESSÃO.....  | 34        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                  | <b>36</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                 | <b>38</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil destaca-se como uma das atividades econômicas que mais consomem recursos naturais, principalmente em função da elevada utilização de agregados na produção de concretos empregados em obras de infraestrutura. Entre esses materiais, o agregado miúdo natural possui papel fundamental, sendo obtido, no contexto brasileiro, predominantemente por meio da extração de areia em leitos de rios. A crescente demanda por esse recurso pode ocasionar impactos ambientais significativos, como processos erosivos, degradação de ecossistemas aquáticos e assoreamento de cursos d'água, comprometendo o equilíbrio ambiental e a disponibilidade nos recursos hídricos (Luz; Almeida, 2009; Mehta; Monteiro, 2006).

Diante dos impactos decorrentes da exploração de agregados naturais, torna-se necessária a busca por alternativas que conciliem viabilidade técnica e operacional. Nesse cenário, destaca-se a utilização de agregados miúdos artificiais, produzidos por meio da britagem de rochas e popularmente conhecidos como pó de brita. Esse material vem sendo amplamente investigado e empregado em obras de grande porte devido à sua elevada disponibilidade, ao aproveitamento de subprodutos da indústria de agregados e ao potencial de reduzir os impactos ambientais associados à exploração de recursos naturais não renováveis (Damineli *et al.*, 2010; Luz; Almeida, 2009; Mehta; Monteiro, 2006).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) constitui a maior obra de infraestrutura hídrica em execução no Brasil e tem como finalidade ampliar a segurança hídrica da Região Nordeste por meio da transferência de águas do Rio São Francisco para bacias hidrográficas receptoras e mananciais com déficit hídrico. Entre seus empreendimentos destaca-se o Ramal Apodi, integrante do Eixo Norte, com aproximadamente 115 km de extensão, composto por canais, galerias, túneis, aquedutos e demais estruturas destinadas ao transporte de água por gravidade, contribuindo para o abastecimento de municípios localizados nos Estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte (Brasil, 2024).

Durante a execução do empreendimento, os concretos utilizados no revestimento do canal eram inicialmente produzidos com agregado miúdo natural proveniente de leitos fluviais. Posteriormente, esse material passou a ser substituído por agregado miúdo artificial produzido na unidade de britagem instalada na própria obra, a partir de avaliações relacionadas às características dos materiais e às condições de produção dos concretos. A utilização do agregado produzido no próprio empreendimento possibilitou sua incorporação ao processo de

produção, mediante controle das propriedades físicas e granulométricas e verificação de sua compatibilidade com os requisitos estabelecidos para os concretos empregados no revestimento do canal.

Do ponto de vista tecnológico, o desempenho do concreto está diretamente relacionado às características físicas e granulométricas de seus materiais constituintes, especialmente dos agregados, que exercem influência significativa sobre propriedades como trabalhabilidade, resistência mecânica, durabilidade e consumo de cimento. A utilização de agregados miúdos artificiais exige, portanto, uma avaliação criteriosa quanto à sua compatibilidade com os requisitos estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras, como a norma NBR 7211 (ABNT 2022a) e a norma NBR 12655 (ABNT, 2022b). Nesse sentido, estudos indicam que o agregado miúdo artificial, quando adequadamente processado e incorporado à dosagem do concreto, pode apresentar desempenho satisfatório, desde que sejam observados parâmetros como distribuição granulométrica, teor de materiais pulverulentos e forma das partículas (Mehta; Monteiro, 2006; Neville, 2015).

Embora diversas pesquisas nacionais e internacionais tenham investigado a utilização do agregado miúdo artificial como substituto da areia natural, demonstrando resultados promissores sob os aspectos técnico e ambiental (Damineli *et al.*, 2010; Luz; Almeida, 2009; John, 2000), observa-se que grande parte desses estudos foi desenvolvida em ambiente laboratorial. Ainda são relativamente escassos os trabalhos que analisam o desempenho desse material em condições reais de produção, especialmente em empreendimentos de grande porte, nos quais fatores operacionais, logísticos e de controle tecnológico influenciam diretamente a produção do concreto.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial nos concretos não estruturais empregados no revestimento do canal do Ramal Apodi, integrante do PISF. Para isso, são utilizados dados provenientes do controle tecnológico realizado durante a execução da obra, incluindo os ensaios de caracterização dos agregados, as dosagens dos concretos e os resultados dos ensaios de resistência à compressão. A partir da análise dessas informações, busca-se avaliar a viabilidade técnica da substituição em condições reais de aplicação, contribuindo para a ampliação do conhecimento sobre o emprego de agregados miúdos artificiais em obras de infraestrutura hídrica.

## **2 OBJETIVOS**

Nesta seção são apresentados os objetivos que orientam o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), delimitando o escopo da pesquisa e os resultados pretendidos.

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial nos concretos não estruturais empregados no revestimento do canal do Ramal Apodi do Projeto de Integração do Rio São Francisco, por meio de um estudo de caso baseado em dados provenientes do controle tecnológico da obra.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para alcançar o objetivo geral, foram delimitadas as seguintes especificações:

- caracterizar as propriedades físicas e granulométricas dos agregados miúdos;
- analisar, de forma qualitativa, as diferenças observadas nos concretos produzidos com agregado miúdo natural e com agregado miúdo artificial;
- avaliar a viabilidade técnica relacionada à substituição do agregado miúdo natural pelo artificial.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A substituição de agregados naturais por materiais alternativos na produção de concretos tem sido amplamente estudada em função da crescente demanda por insumos para a construção civil e da necessidade de utilização mais eficiente dos recursos naturais. Nesse contexto, a compreensão das propriedades dos materiais constituintes do concreto torna-se fundamental para avaliar o comportamento das misturas e os possíveis impactos decorrentes da substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo artificial.

Dessa forma, este capítulo apresenta a fundamentação teórica que sustenta o desenvolvimento da pesquisa, abordando os principais conceitos relacionados ao concreto, aos agregados utilizados em sua produção, às características dos agregados miúdos naturais e artificiais, aos concretos não estruturais empregados no revestimento de canais e ao contexto do PISF, com ênfase no Ramal Apodi, área de estudo deste trabalho.

#### 3.1 CONCRETO

O concreto é o material mais empregado na construção civil contemporânea, sendo utilizado em obras de edificações, infraestrutura, saneamento, transportes e recursos hídricos. Sua ampla aplicação está associada à elevada versatilidade, à disponibilidade dos materiais constituintes e à possibilidade de adequação de suas propriedades às diferentes condições de projeto e execução. Em obras hidráulicas, como canais de condução de água, o concreto desempenha papel fundamental ao proporcionar resistência mecânica, durabilidade e proteção superficial, contribuindo para o desempenho e a vida útil da estrutura.

Sob o ponto de vista tecnológico, o concreto pode ser definido como um material compósito obtido pela mistura de cimento Portland, agregados miúdos, agregados graúdos, água e, quando necessário, adições minerais e aditivos químicos. Após a mistura, ocorre o processo de hidratação do cimento, responsável pela formação da pasta cimentícia endurecida que envolve os agregados e confere resistência ao material. O comportamento do concreto depende da interação entre seus constituintes, de modo que alterações nas características de qualquer um desses materiais pode modificar significativamente suas propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (Mehta; Monteiro, 2006).

No estado fresco, propriedades como trabalhabilidade, coesão e consistência são determinantes para as etapas de transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto. Essas características são influenciadas pela proporção entre os materiais constituintes, pela relação água/cimento, pela distribuição granulométrica dos agregados e pela utilização de

aditivos químicos. A obtenção de uma mistura homogênea é essencial para evitar problemas como segregação dos agregados, exsudação e perda de uniformidade, fatores que podem comprometer o desempenho do concreto após o endurecimento (Neville, 2015).

Após o processo de endurecimento, destacam-se propriedades relacionadas ao desempenho mecânico e à durabilidade do material. Entre elas, a resistência à compressão é reconhecida como o principal parâmetro de controle tecnológico do concreto, sendo amplamente utilizada para verificar o atendimento às especificações de projeto. Entretanto, outras características, como permeabilidade, porosidade, resistência ao desgaste e estabilidade volumétrica, também exercem papel importante, especialmente em estruturas sujeitas à ação contínua da água ou a ambientes agressivos (Helene; Terzian, 1992).

Entre os componentes do concreto, os agregados ocupam aproximadamente 70% a 80% de seu volume total, tornando-se responsáveis por grande parte das propriedades físicas e mecânicas da mistura. Além de influenciarem diretamente a resistência e a deformabilidade do concreto, suas características granulométricas, físicas e mineralógicas interferem na trabalhabilidade, no consumo de água, na quantidade de cimento necessária e na durabilidade do material. Dessa forma, a seleção adequada dos agregados representa uma das etapas mais importantes no processo de dosagem do concreto (Mehta; Monteiro, 2006).

Nos concretos empregados em revestimentos de canais de condução de água, o controle das características dos materiais também assume papel relevante, considerando as condições de exposição e as funções desempenhadas pelo revestimento. Embora esses concretos não tenham, necessariamente, função estrutural, suas propriedades influenciam a resistência superficial, a durabilidade, a estanqueidade e a qualidade do revestimento ao longo da vida útil da infraestrutura hidráulica. Assim, modificações nos materiais constituintes, como a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial, devem ser avaliadas considerando seus possíveis efeitos sobre as propriedades do concreto e sobre o atendimento às exigências técnicas estabelecidas para a obra.

Nesse contexto, observa-se que o comportamento do concreto está intimamente relacionado às características dos agregados empregados em sua produção. Considerando que estes representam a maior parcela da composição da mistura e exercem influência significativa sobre suas propriedades, torna-se necessário compreender suas funções, classificações e principais características tecnológicas, aspectos que serão abordados na seção seguinte.

### 3.2 AGREGADOS PARA CONCRETO

Os agregados constituem a fração de maior volume na composição do concreto,



representando até 80% do material endurecido. Embora tradicionalmente sejam considerados materiais inertes, sua participação na mistura exerce influência direta sobre diversas propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Características como granulometria, forma das partículas, textura superficial, massa específica, absorção de água e resistência dos grãos afetam o comportamento da mistura, interferindo na trabalhabilidade, no consumo de cimento, na resistência mecânica e na durabilidade do concreto (Mehta; Monteiro, 2006).

De acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2022a), os agregados destinados à produção de concreto devem atender a requisitos físicos, químicos e granulométricos que assegurem sua adequação às condições de utilização. O atendimento a esses requisitos é fundamental para garantir a uniformidade da produção e o desempenho esperado do concreto, sobretudo em obras de grande porte, onde pequenas variações nas propriedades dos materiais podem refletir diretamente na qualidade do produto final.

Quanto à dimensão de suas partículas, os agregados classificam-se em miúdos e graúdos. Os agregados miúdos são aqueles cujas partículas passam predominantemente pela peneira de abertura nominal de 4,75 mm e ficam retidas na peneira de 0,15 mm, sendo representados principalmente pelas areias naturais e pelos agregados artificiais provenientes da britagem de rochas. Os agregados graúdos, por sua vez, são constituídos por partículas retidas na peneira de 4,75 mm, sendo normalmente representados pelas britas utilizadas na produção do concreto (ABNT, 2022c).

Entre as propriedades tecnológicas dos agregados, a distribuição granulométrica destaca-se como um dos parâmetros mais importantes para a dosagem dos concretos. Uma composição granulométrica bem distribuída favorece o empacotamento das partículas, reduzindo os vazios internos da mistura e diminuindo a quantidade de pasta de cimento necessária para preenchê-los. Como consequência, obtêm-se concretos com melhor trabalhabilidade, menor consumo de cimento e potencial incremento das propriedades mecânicas e de durabilidade (Neville, 2015).

Outro parâmetro amplamente empregado no controle tecnológico é o módulo de finura, utilizado como um índice representativo da distribuição granulométrica do agregado miúdo. Embora não seja suficiente para caracterizar isoladamente sua qualidade, esse índice auxilia na comparação entre diferentes materiais e no ajuste das dosagens, uma vez que agregados excessivamente finos tendem a aumentar a demanda de água da mistura, enquanto materiais demasiadamente grossos podem comprometer sua coesão e acabamento superficial.

Além da granulometria, outras propriedades merecem atenção durante a seleção dos

agregados. A massa específica influencia os cálculos de dosagem e o consumo volumétrico dos materiais. A absorção de água interfere na relação água/cimento efetiva, podendo alterar a trabalhabilidade e o desempenho do concreto. Além disso, o teor de materiais pulverulentos deve permanecer dentro dos limites estabelecidos em norma, evitando o aumento excessivo da demanda de água ou alterações indesejáveis na consistência da mistura. Em determinadas situações, entretanto, pequenas quantidades de partículas finas podem contribuir para o preenchimento dos vazios entre os grãos, favorecendo o empacotamento e aumentando a compacidade do concreto (Helene; Terzian, 1992).

Considerando que o presente estudo tem como foco a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial produzido na britagem da própria obra, as propriedades do agregado miúdo assumem papel central na análise. A compreensão dessas características permite avaliar de que forma o material influencia a produção dos concretos empregados no revestimento do canal e fornece a base técnica necessária para interpretar os resultados.

### 3.3 AGREGADO MIÚDO NATURAL

O agregado miúdo natural, popularmente denominado de areia natural, é um dos materiais mais utilizados na produção de concretos em função de sua ampla disponibilidade, facilidade de obtenção e adequado desempenho tecnológico. No Brasil, sua exploração ocorre predominantemente em depósitos aluvionares e leitos de rios, onde o material é extraído, beneficiado e classificado granulometricamente antes de sua utilização na construção civil. As características adquiridas durante sua formação geológica conferem aos grãos formato predominantemente arredondado e superfície relativamente lisa, aspectos que influenciam diretamente o comportamento do concreto no estado fresco.

Sob o ponto de vista tecnológico, a areia natural desempenha papel fundamental na composição do concreto, promovendo o preenchimento dos vazios existentes entre os agregados graúdos e contribuindo para a obtenção de uma mistura mais coesa e homogênea. A adequada distribuição granulométrica desse material favorece o empacotamento das partículas, reduzindo a necessidade de pasta cimentícia para preenchimento dos vazios e contribuindo para a melhoria da trabalhabilidade e da estabilidade da mistura (Mehta; Monteiro, 2006).

Entre os parâmetros utilizados na caracterização da areia natural destacam-se a composição granulométrica, o módulo de finura, a massa específica, a absorção de água e o teor de materiais pulverulentos. Essas propriedades são utilizadas no controle tecnológico por influenciarem diretamente a dosagem dos concretos e seu desempenho. Alterações nesses parâmetros podem exigir modificações na relação água/cimento, no consumo de cimento e na

utilização de aditivos químicos, refletindo tanto nas propriedades do concreto fresco quanto na resistência e durabilidade do material endurecido.

A forma arredondada dos grãos da areia natural reduz o atrito interno entre as partículas da mistura, favorecendo a mobilidade do concreto durante o transporte, lançamento e adensamento. Essa característica geralmente resulta em menor demanda de água para obtenção da consistência especificada quando comparada a agregados artificiais de partículas mais angulares (Neville, 2015). Entretanto, a utilização da areia natural não deve ser analisada apenas sob a perspectiva da trabalhabilidade, sendo necessário considerar também aspectos relacionados à disponibilidade do recurso e aos impactos decorrentes de sua extração.

Nas últimas décadas, o crescimento da construção civil elevou significativamente a demanda por agregados naturais, intensificando a exploração de jazidas e leitos de rios em diversas regiões do país. Esse cenário tem contribuído para o aumento das restrições ambientais relacionadas à extração de areia, motivadas pelos impactos provocados sobre os ecossistemas aquáticos, pela alteração da dinâmica fluvial e pela redução da disponibilidade desse recurso em determinadas localidades.

Em empreendimentos de grande porte, como o PISF, o elevado consumo de concreto torna o fornecimento de areia natural um fator de grande importância para a continuidade das atividades construtivas. Nesse contexto, torna-se essencial garantir que esse material apresente características físicas e granulométricas compatíveis com as exigências do concreto, uma vez que sua qualidade influencia diretamente a dosagem, a trabalhabilidade, a resistência e a durabilidade do material empregado nas obras.

### 3.4 AGREGADO MIÚDO ARTIFICIAL

O agregado miúdo artificial é produzido durante o processo de britagem de rochas, sendo posteriormente submetido a etapas de classificação granulométrica e controle tecnológico para adequação às exigências de utilização em concretos. Diferentemente da areia natural, cujas características dependem dos processos geológicos de formação e transporte, o agregado artificial apresenta propriedades influenciadas pela natureza da rocha matriz, pelo tipo de britador utilizado e pelas condições operacionais do processo de produção. Dessa forma, suas características podem apresentar maior uniformidade quando submetidas a um adequado controle de fabricação (Mehta; Monteiro, 2006).

Entre as principais diferenças em relação à areia natural destacam-se a forma e a textura superficial das partículas. Os grãos produzidos por britagem apresentam, em geral, geometria mais angular e superfície mais rugosa, características que favorecem a aderência entre o

agregado e a pasta de cimento. Por outro lado, essa morfologia pode aumentar o atrito interno da mistura, elevando a demanda de água ou a necessidade de utilização de aditivos plastificantes para obtenção da trabalhabilidade especificada (Neville, 2015).

Além da forma das partículas, a distribuição granulométrica constitui um dos aspectos mais relevantes na avaliação da viabilidade do agregado miúdo artificial. Uma granulometria contínua favorece o empacotamento dos grãos, reduzindo o volume de vazios da mistura e contribuindo para a otimização do consumo de pasta cimentícia. Quando adequadamente controlada, essa característica pode resultar em concretos com propriedades equivalentes às obtidas com agregados naturais, desde que sejam realizados os ajustes necessários na dosagem.

Outro parâmetro de grande importância corresponde ao teor de materiais pulverulentos presentes no agregado. Durante o processo de britagem ocorre a geração de partículas extremamente finas que permanecem aderidas ao material ou são incorporadas ao produto final. Em concentrações compatíveis com os limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT 2022a), essas partículas podem atuar como material de preenchimento dos vazios entre os grãos, contribuindo para o aumento da compacidade da mistura. Entretanto, teores elevados tendem a aumentar a superfície específica do agregado, elevando a demanda de água e podendo comprometer a trabalhabilidade do concreto quando não considerados durante a dosagem.

Da mesma forma, propriedades como massa específica, absorção de água e módulo de finura exercem influência direta sobre o comportamento do concreto produzido com agregado miúdo artificial. Essas características interferem no proporcionamento dos materiais, na relação água/cimento efetiva e no consumo de cimento, tornando indispensável sua determinação durante o controle tecnológico. Em razão disso, a utilização do agregado artificial deve ser precedida pela caracterização física e granulométrica do material, permitindo avaliar sua conformidade com os requisitos normativos e sua adequação à aplicação pretendida.

Diversos estudos demonstram que concretos produzidos com agregados miúdos artificiais podem apresentar desempenho mecânico satisfatório, desde que o material seja adequadamente caracterizado e que a dosagem do concreto considere suas propriedades físicas e granulométricas (Isaia, 2011). Dessa forma, a utilização desse tipo de agregado deve estar associada ao controle tecnológico dos materiais, permitindo adequar a composição das misturas às suas características específicas e assegurar o desempenho esperado do concreto.

Além dos aspectos relacionados ao desempenho técnico, o agregado miúdo artificial apresenta vantagens associadas ao aproveitamento de materiais provenientes do processo de britagem de rochas, reduzindo a necessidade de disposição desses finos e ampliando as possibilidades de utilização de recursos já disponíveis nas unidades produtoras de agregados.

Em determinadas situações, sua utilização também pode contribuir para otimizar aspectos logísticos e operacionais, especialmente em empreendimentos que dispõem de sistemas próprios de produção de agregados.

### 3.5 CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS EMPREGADOS NO REVESTIMENTO DE CANAIS

Os canais revestidos em concreto constituem um dos principais elementos das obras de infraestrutura hídrica destinadas à condução de água por gravidade. Sua função é garantir condições hidráulicas adequadas ao escoamento, minimizar perdas por infiltração, reduzir processos erosivos e preservar a estabilidade geométrica da seção do canal durante toda a vida útil do empreendimento. O desempenho desses revestimentos depende diretamente da qualidade dos materiais empregados e do controle tecnológico realizado durante sua execução.

Embora os concretos utilizados no revestimento de canais não desempenhem, em muitos casos, função estrutural semelhante à de vigas, pilares ou lajes, suas propriedades devem atender aos requisitos estabelecidos em projeto para assegurar durabilidade, resistência superficial e desempenho compatível com as condições de exposição da obra. Durante sua vida útil, esses revestimentos permanecem submetidos à ação contínua da água, às variações de temperatura, aos ciclos de umedecimento e secagem e, eventualmente, ao desgaste provocado pelo transporte de sedimentos. Dessa forma, o controle das propriedades do concreto torna-se essencial para garantir a eficiência operacional do sistema hidráulico.

Entre os parâmetros de maior relevância para os concretos empregados em revestimentos de canais destacam-se a resistência à compressão, a trabalhabilidade, a relação água/cimento e a qualidade dos agregados utilizados na mistura. A adequada combinação desses fatores influencia diretamente a compactação do concreto, a formação da microestrutura cimentícia e a durabilidade do revestimento ao longo do tempo. Em consequência, modificações em qualquer um dos materiais constituintes exigem avaliação criteriosa antes de sua adoção em larga escala.

Nesse contexto, o agregado miúdo assume papel de destaque por influenciar simultaneamente o comportamento do concreto fresco e endurecido. Alterações em sua composição granulométrica, módulo de finura, absorção de água e teor de materiais pulverulentos podem modificar a demanda de água da mistura, a necessidade de utilização de aditivos químicos e a própria dosagem do concreto. Assim, a substituição da areia natural por agregado miúdo artificial deve ser acompanhada por ensaios laboratoriais capazes de verificar se o novo material atende às especificações técnicas exigidas para a aplicação.

Em empreendimentos de infraestrutura hídrica de grande porte, o elevado consumo de concreto faz com que aspectos relacionados à disponibilidade de materiais e à logística de transporte também sejam considerados durante a definição das dosagens. Nesse contexto, a utilização de agregados miúdos artificiais produzidos em unidades de britagem representa uma alternativa que pode contribuir para o aproveitamento dos recursos disponíveis e para a redução da dependência de agregados naturais, desde que sua aplicação seja respaldada por adequado controle tecnológico.

A adoção dessa alternativa exige que a substituição do agregado seja analisada não apenas sob a perspectiva da resistência mecânica, mas também considerando as propriedades físicas dos agregados, as adaptações realizadas nas dosagens e o comportamento dos concretos produzidos em condições reais de obra. Dessa forma, a avaliação integrada dos ensaios de caracterização dos materiais, das dosagens empregadas e dos resultados de resistência permite verificar a viabilidade da substituição nas condições específicas do empreendimento.

### 3.6 PROJETO DE INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO E O RAMAL APODI

O PISF constitui uma das maiores obras de infraestrutura hídrica já executadas no Brasil, concebida com a finalidade de ampliar a disponibilidade de recursos hídricos para regiões do semiárido nordestino caracterizadas por elevada irregularidade pluviométrica e recorrentes períodos de estiagem. O empreendimento integra bacias hidrográficas por meio da transposição de parte das águas do Rio São Francisco, contribuindo para o abastecimento humano, a dessedentação animal e o desenvolvimento de atividades econômicas em diversos estados da região Nordeste (Brasil, 2024).

O sistema é composto pelos Eixos Norte e Leste, responsáveis pela condução das águas por extensas estruturas hidráulicas formadas por canais, aquedutos, túneis, reservatórios, sifões e estações de bombeamento. A partir desses eixos principais foram implantados ramais complementares destinados à ampliação da área de atendimento do sistema, entre os quais se destaca o Ramal Apodi, objeto de interesse deste estudo.

O empreendimento foi concebido para conduzir as águas provenientes do Eixo Norte em direção às bacias hidrográficas localizadas nos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte, reforçando a segurança hídrica regional e ampliando a disponibilidade de água para diferentes usos. Com aproximadamente 115,5 km de extensão, o ramal é composto por canais revestidos em concreto, aquedutos, túneis, sifões e outras estruturas hidráulicas, nas quais o escoamento ocorre predominantemente por gravidade, exigindo elevada regularidade geométrica e adequada qualidade construtiva para garantir a eficiência do sistema.

O Ramal Apodi caracteriza-se pela execução de um conjunto de estruturas hidráulicas destinadas à condução contínua das águas transpostas, destacando-se os canais revestidos em concreto, além de obras de arte especiais necessárias ao funcionamento do sistema. Devido ao elevado volume de serviços executados e à necessidade de garantir a qualidade das estruturas, a produção dos materiais empregados na obra exige rigoroso controle tecnológico, visando assegurar o desempenho dos concretos e a durabilidade do empreendimento.

Durante a execução do empreendimento, a disponibilidade de uma unidade própria de britagem possibilitou a produção dos agregados utilizados na fabricação dos concretos empregados no revestimento dos canais. Essa característica conferiu ao Ramal Apodi condições favoráveis para o acompanhamento tecnológico dos materiais produzidos e para a avaliação de seu desempenho em condições reais de obra, aspecto que fundamenta a escolha desse empreendimento como objeto do presente estudo.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento da pesquisa, contemplando a caracterização do estudo, da área de aplicação e dos materiais analisados, bem como as etapas empregadas na obtenção, organização e interpretação dos dados utilizados. Considerando que a pesquisa foi desenvolvida a partir de informações provenientes do controle tecnológico realizado durante a execução da obra, apresentam-se também os critérios utilizados para a análise dos ensaios laboratoriais, das dosagens dos concretos e dos resultados de resistência à compressão, os quais constituem a base para as discussões apresentadas no capítulo seguinte.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e quantitativa, desenvolvida por meio de um estudo de caso. Sua natureza aplicada decorre da análise de uma situação real de engenharia, buscando avaliar a viabilidade da substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial produzido na unidade de britagem da própria obra, empregando informações obtidas durante a execução dos concretos não estruturais utilizados no revestimento do canal do Ramal Apodi, integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui caráter descritivo e analítico. O aspecto descritivo está relacionado à caracterização dos materiais empregados na produção dos concretos, utilizando informações provenientes dos ensaios laboratoriais realizados durante o controle tecnológico da obra. O caráter analítico consiste na interpretação desses resultados, buscando compreender a influência das propriedades do agregado miúdo artificial sobre a dosagem e o desempenho dos concretos empregados no revestimento do canal.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o trabalho enquadra-se como um estudo de caso, uma vez que investiga um fenômeno contemporâneo inserido em seu contexto real, utilizando dados produzidos durante a execução de um empreendimento específico. Segundo Yin (2015), essa estratégia de pesquisa é especialmente indicada quando se pretende compreender um fenômeno em condições reais de aplicação, preservando as características do ambiente em que ele ocorre.

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos a partir do controle tecnológico realizado durante a execução da obra e disponibilizados pela empresa responsável pelo empreendimento. O conjunto de informações analisadas compreende os relatórios de



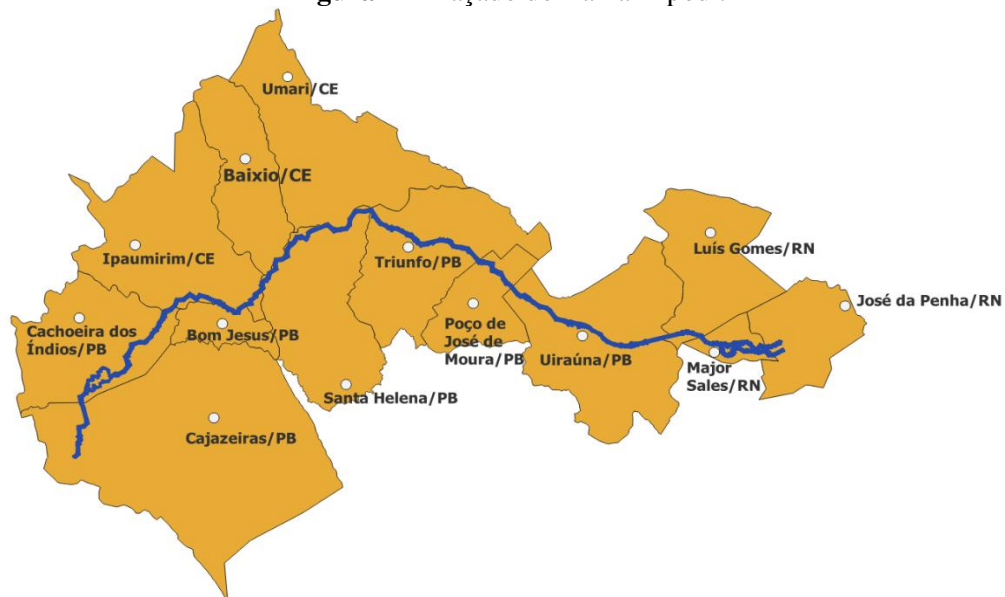
caracterização dos agregados, as tabelas de dosagem racional dos concretos e os resultados dos ensaios de resistência à compressão executados como parte do controle de qualidade da produção. Dessa forma, não foram realizados ensaios laboratoriais específicos para este trabalho, sendo toda a análise fundamentada em dados técnicos previamente obtidos em condições reais de obra.

A interpretação dos resultados foi desenvolvida mediante análise comparativa entre as características dos materiais e o desempenho dos concretos produzidos, confrontando as informações obtidas com os requisitos estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras e com a literatura especializada. Essa abordagem permitiu avaliar a viabilidade técnica da substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial nas condições específicas observadas durante a execução do Ramal Apodi.

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida com base em informações provenientes da execução do Ramal Apodi, empreendimento integrante do PISF. O ramal constitui uma importante obra de infraestrutura hídrica destinada à condução das águas provenientes do Eixo Norte do sistema, contribuindo para o aumento da disponibilidade hídrica nos estados da Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. A Figura 1 apresenta o traçado geral do Ramal Apodi na região de estudo.

**Figura 1** - Traçado do Ramal Apodi.



**Fonte:** Empresa responsável pelo empreendimento, 2026.

O estudo concentra-se especificamente nos concretos não estruturais utilizados no revestimento do canal de condução de água por gravidade. Esses revestimentos possuem a função de reduzir perdas por infiltração, minimizar processos erosivos, preservar a estabilidade

das seções hidráulicas e garantir condições adequadas para o escoamento da água ao longo do canal. Em razão da grande extensão do empreendimento e do elevado volume de concreto empregado, o controle tecnológico dos materiais torna-se uma etapa essencial para assegurar a qualidade e a durabilidade da obra.

Durante a execução do empreendimento, o concreto foi produzido em central dosadora instalada na própria obra, permitindo o controle sistemático das características dos materiais constituintes e das dosagens adotadas. O agregado miúdo artificial utilizado na produção dos concretos foi obtido na unidade de britagem do empreendimento, constituindo uma alternativa ao emprego exclusivo de areia natural. A disponibilidade desse material possibilitou avaliar sua utilização em condições reais de produção, considerando as exigências técnicas estabelecidas para os concretos de revestimento do canal.

As informações analisadas nesta pesquisa foram disponibilizadas pelo setor de controle tecnológico da empresa executora e compreendem os relatórios de caracterização da areia natural e do agregado miúdo artificial produzido na britagem da obra, as tabelas de dosagem racional dos concretos e os resultados dos ensaios de resistência à compressão realizados durante o controle de qualidade da produção. Esses documentos representam registros técnicos elaborados ao longo da execução do empreendimento e constituem a base de dados utilizada neste estudo.

Dessa forma, a área de estudo corresponde ao processo de produção e controle tecnológico dos concretos não estruturais empregados no revestimento do canal do Ramal Apodi. A utilização de dados obtidos diretamente durante a execução da obra permite analisar a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo artificial em condições reais de aplicação, aproximando os resultados da prática executiva e fornecendo subsídios técnicos para futuras aplicações em obras de infraestrutura hídrica com características semelhantes.

#### 4.3 MATERIAIS

O desenvolvimento desta pesquisa baseou-se exclusivamente na análise de informações provenientes do controle tecnológico realizado durante a execução dos concretos não estruturais empregados no revestimento do canal do Ramal Apodi. Todos os dados utilizados foram disponibilizados pela empresa responsável pela execução do empreendimento, sendo provenientes de registros técnicos produzidos ao longo da obra.

Os materiais objeto da pesquisa compreendem o agregado miúdo natural empregado na produção dos concretos e o agregado miúdo artificial produzido na unidade de britagem da própria obra, utilizado como alternativa para substituição da areia natural nas misturas. A

caracterização desses materiais foi realizada com base nos relatórios de ensaios laboratoriais elaborados pelo setor de controle tecnológico, permitindo a avaliação de propriedades físicas e granulométricas relevantes para a produção dos concretos.

Além da caracterização dos agregados, foram utilizadas as tabelas de dosagem racional dos concretos empregados no revestimento do canal. Esses documentos apresentam informações referentes à resistência característica de projeto ( $f_{ck}$ ), aplicação dos concretos, abatimento (*slump*), tipo de cimento empregado, consumo dos materiais constituintes, relação água/cimento, utilização de aditivos químicos e incorporação de fibras. A análise dessas informações possibilitou compreender os critérios adotados para a produção dos concretos e identificar as adaptações realizadas em função da utilização do agregado miúdo artificial.

Também foram utilizados os resultados dos ensaios de resistência à compressão obtidos durante o controle tecnológico da obra. Esses ensaios constituem o principal parâmetro de verificação da conformidade dos concretos produzidos e permitiram avaliar o atendimento às resistências especificadas em projeto após a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo artificial.

Todos os documentos analisados foram produzidos conforme os procedimentos de controle tecnológico adotados pela empresa e executados de acordo com as normas técnicas brasileiras aplicáveis à caracterização dos agregados e ao controle da qualidade do concreto. Dessa forma, os dados utilizados representam as condições efetivamente observadas durante a execução dos concretos de revestimento do canal, conferindo caráter prático e aplicado à pesquisa.

#### 4.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento da pesquisa foi realizado em etapas sequenciais, iniciando-se pela revisão bibliográfica sobre concreto, agregados para concreto, agregado miúdo natural, agregado miúdo artificial e concretos empregados em revestimentos de canais. Essa etapa forneceu o embasamento teórico necessário para a interpretação dos resultados obtidos no estudo.

Na etapa seguinte, procedeu-se ao levantamento e à organização da documentação técnica disponibilizada pela empresa executora da obra. Inicialmente, foram reunidos os relatórios de caracterização da areia natural e do agregado miúdo artificial produzido na unidade de britagem do empreendimento, contendo informações obtidas nos ensaios laboratoriais realizados pelo controle tecnológico.

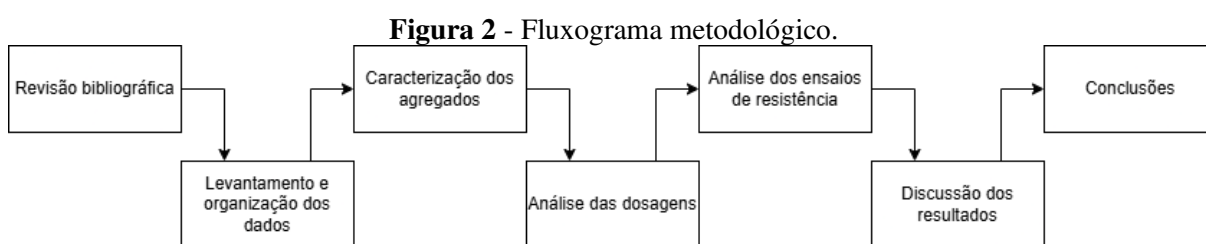
Posteriormente, foram analisadas as tabelas de dosagem racional dos concretos

utilizados no revestimento do canal, permitindo identificar as características de cada traço produzido, incluindo resistência característica de projeto, abatimento especificado, consumo dos materiais constituintes, relação água/cimento, utilização de aditivos químicos e incorporação de fibras.

Em seguida, foram organizados os resultados dos ensaios de resistência à compressão executados durante o controle tecnológico dos concretos produzidos na obra. Esses resultados foram utilizados para verificar o atendimento às especificações de projeto e analisar o comportamento dos concretos produzidos com agregado miúdo artificial.

Após a organização da base de dados, realizou-se a análise comparativa entre a areia natural e o agregado miúdo artificial produzido na britagem da obra, considerando propriedades como distribuição granulométrica, módulo de finura, massa específica, absorção de água e teor de materiais pulverulentos. Na sequência, essas informações foram relacionadas às dosagens adotadas e aos resultados de resistência à compressão, buscando identificar possíveis influências da substituição do agregado miúdo natural sobre o desempenho dos concretos empregados no revestimento do canal.

Por fim, os resultados obtidos foram discutidos à luz da literatura especializada e das normas técnicas aplicáveis, com o objetivo de verificar a viabilidade técnica da substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo artificial. Todas as análises foram desenvolvidas exclusivamente com base nos registros técnicos disponibilizados pela empresa, não sendo realizados ensaios laboratoriais complementares ou intervenções experimentais para esta pesquisa. As principais etapas da pesquisa estão sintetizadas na Figura 2.



**Fonte:** Autor, 2026.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da análise dos dados fornecidos pelo controle tecnológico da obra. Inicialmente, são avaliadas as características dos agregados miúdos empregados na produção dos concretos, com ênfase na comparação entre a areia natural e o agregado miúdo artificial produzido na unidade de britagem do empreendimento. Em seguida, são analisadas as dosagens dos concretos utilizados no revestimento do canal e os resultados dos ensaios de resistência à compressão, buscando verificar a influência da substituição do agregado miúdo natural sobre o desempenho dos concretos não estruturais. As discussões são fundamentadas na literatura especializada e nas normas técnicas aplicáveis, permitindo avaliar a viabilidade técnica da utilização do agregado miúdo artificial nas condições observadas no Ramal Apodi.

### **5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS**

A caracterização dos agregados miúdos utilizados na produção dos concretos de revestimento do canal foi realizada com base nos ensaios de controle tecnológico disponibilizados pela empresa responsável pela execução da obra. Foram analisadas as propriedades físicas e granulométricas da areia natural inicialmente empregada na produção dos concretos e do agregado miúdo artificial produzido na unidade de britagem instalada próximo ao canteiro de obras. A avaliação dessas propriedades permite compreender as diferenças entre os materiais e sua influência no desempenho dos concretos produzidos.

#### **5.1.1 Caracterização da areia natural**

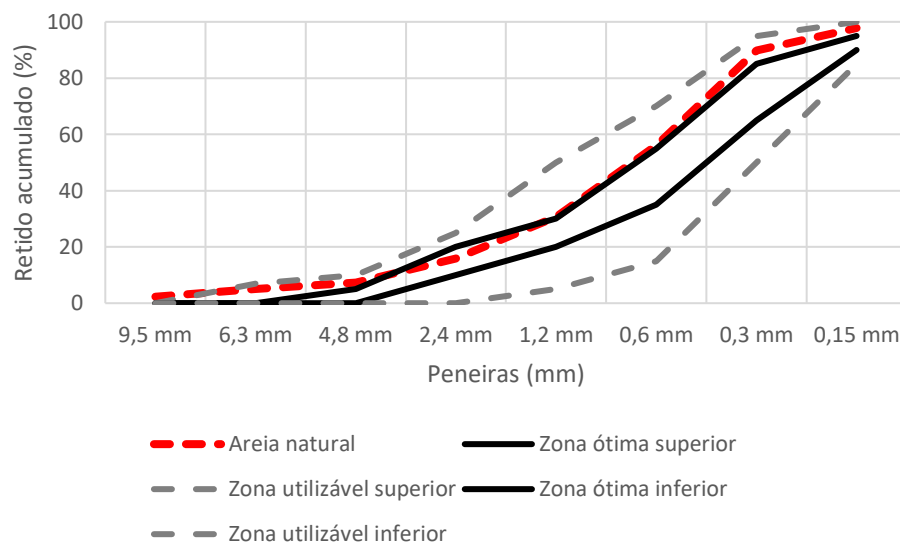
A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física e granulométrica da areia natural utilizada na produção dos concretos de revestimento do canal. Esses ensaios foram realizados durante o controle tecnológico da obra, permitindo avaliar sua adequação como agregado miúdo para a produção do concreto. Os resultados obtidos servem como referência para comparação com o agregado miúdo artificial analisado posteriormente.

A composição granulométrica apresentou distribuição contínua das partículas ao longo das peneiras analisadas, evidenciando uma curva bem distribuída e compatível com a utilização em concretos, conforme apresentado na Figura 3. Observa-se que a curva granulométrica se aproxima da zona ótima estabelecida pela norma NBR 7211 (ABNT 2022a), indicando uma distribuição de partículas favorável ao emprego como agregado miúdo.

**Tabela 1** - Resumo dos resultados do agregado miúdo natural.

| Propriedade                           | Valor |
|---------------------------------------|-------|
| Dimensão máxima característica (mm)   | 9,5   |
| Módulo de Finura (%)                  | 3,00  |
| Argila em Torrões (%)                 | 0,30  |
| Material Pulverulento (%)             | 1,98  |
| Massa Unitária (g/dm <sup>3</sup> )   | 1553  |
| Massa Específica (g/dm <sup>3</sup> ) | 2598  |
| Absorção (%)                          | 0,56  |

**Fonte:** Empresa responsável pelo empreendimento, 2026.

**Figura 3** - Gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo natural.

**Fonte:** Empresa responsável pelo empreendimento, 2026.

A dimensão máxima característica foi de 9,5 mm, enquanto o módulo de finura obtido foi de 3,00, classificando o material como uma areia relativamente grossa. Segundo Neville (2015), agregados com módulos de finura mais elevados tendem a apresentar menor área superficial específica, reduzindo a demanda de água da mistura quando adequadamente dosados.

Quanto às propriedades físicas, verificou-se teor de material pulverulento igual a 1,98%, valor inferior ao limite estabelecido pela norma NBR 7211 (ABNT 2022a) para agregados miúdos naturais empregados na produção de concreto. O teor de argila em torrões foi de 0,30%, indicando reduzida presença de impurezas potencialmente prejudiciais à aderência entre os agregados e a pasta cimentícia.

A absorção de água foi de 0,56%, evidenciando baixa porosidade do agregado e reduzida influência sobre a relação água/cimento durante a produção do concreto. Além disso,

foram obtidos valores de 2598 g/dm<sup>3</sup> para a massa específica e 1553 g/dm<sup>3</sup> para a massa unitária, compatíveis com agregados miúdos naturais empregados na construção civil.

Em conjunto, esses resultados demonstram que a areia natural utilizada na obra apresenta características físicas adequadas para a produção dos concretos de revestimento do canal, constituindo um parâmetro de comparação para a avaliação do desempenho do agregado miúdo artificial.

### 5.1.2 Caracterização do agregado miúdo artificial

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física e granulométrica do agregado miúdo artificial produzido na unidade de britagem do empreendimento. Esses ensaios foram realizados durante o controle tecnológico da obra, permitindo avaliar a conformidade do material com os requisitos normativos e sua adequação para utilização como agregado miúdo na produção dos concretos empregados no revestimento do canal.

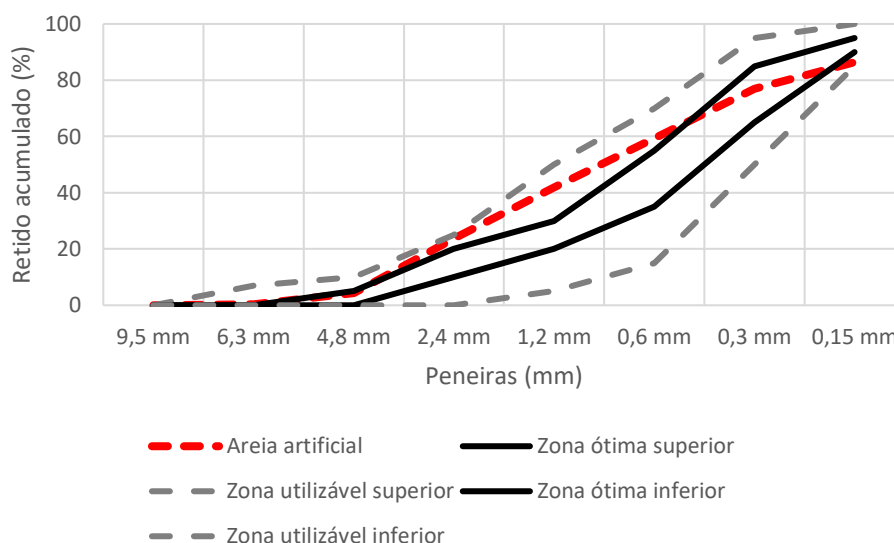
**Tabela 2** - Resumo dos resultados do agregado miúdo artificial.

| Propriedade                           | Valor |
|---------------------------------------|-------|
| Dimensão máxima característica (mm)   | 4,8   |
| Módulo de Finura (%)                  | 2,93  |
| Argila em Torrões (%)                 | 0,26  |
| Material Pulverulento (%)             | 9,49  |
| Massa Unitária (g/dm <sup>3</sup> )   | 1611  |
| Massa Específica (g/dm <sup>3</sup> ) | 2620  |
| Absorção (%)                          | 0,93  |

**Fonte:** Empresa responsável pelo empreendimento, 2026.

Os resultados indicaram dimensão máxima característica de 4,8 mm e módulo de finura igual a 2,93, valor próximo ao obtido para a areia natural, indicando comportamento granulométrico semelhante entre os materiais. A Figura 4 apresenta a curva granulométrica do material, evidenciando que sua distribuição de partículas se encontra inserida na zona utilizável estabelecida pela norma NBR 7211 (ABNT 2022a). Embora a curva não esteja integralmente situada na zona ótima, o agregado atende aos limites granulométricos especificados pela norma.

O teor de material pulverulento foi de 9,49%, permanecendo dentro do limite máximo de 12% estabelecido pela norma NBR 7211 (ABNT 2022a) para agregados miúdos artificiais destinados à produção de concreto. A presença desse percentual de finos é característica de materiais provenientes do processo de britagem e, quando controlada, pode contribuir para o preenchimento dos vazios entre os grãos, favorecendo a compacidade da mistura.

**Figura 4** - Gráfico da curva granulométrica do agregado miúdo artificial.

**Fonte:** Empresa responsável pelo empreendimento, 2026.

O teor de argila em torrões foi de 0,26%, indicando baixa presença de impurezas potencialmente prejudiciais ao concreto. A absorção de água apresentou valor de 0,93%, superior ao observado para a areia natural, comportamento esperado para agregados britados em razão da maior rugosidade superficial e da angularidade de seus grãos. Também foram determinados valores de 2620 g/dm<sup>3</sup> para a massa específica e 1611 g/dm<sup>3</sup> para a massa unitária, compatíveis com agregados miúdos artificiais empregados na produção de concreto.

De modo geral, os resultados obtidos demonstram que o agregado miúdo artificial apresenta propriedades físicas e granulométricas compatíveis com as exigências da norma NBR 7211 (ABNT 2022a), evidenciando sua adequação para utilização na produção de concretos. Essas características constituem a base para as análises apresentadas nas seções seguintes, nas quais serão discutidas as dosagens adotadas e o desempenho dos concretos produzidos.

## 5.2 ANÁLISE DAS DOSAGENS DOS CONCRETOS

Com o objetivo de avaliar a influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial na composição dos concretos, foram comparadas duas dosagens empregadas no revestimento do canal do Ramal Apodi. Conforme apresentado na Tabela 3, o traço TR172 corresponde ao concreto produzido com agregado miúdo artificial, enquanto o TR178 foi produzido utilizando exclusivamente agregado miúdo natural, mantendo-se as condições de aplicação e a resistência característica de projeto ( $f_{ck} = 15$  MPa).



**Tabela 3** - Traços analisados no estudo.

| <b>Traço</b>                           | <b><i>Slump</i><br/>(mm)</b> | <b>Cimento<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Areia Natural<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b>        | <b>Areia Artificial<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b>      | <b>Brita 9,5<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> |
|----------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| TR172                                  | 10 a 50                      | 235                                   | -                                                  | 1010                                                | 212                                     |
| TR178                                  | 10 a 50                      | 235                                   | 1010                                               | -                                                   | 212                                     |
| <b>Brita 19<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Água<br/>(Litros)</b>     | <b>Relação<br/>água/cimento</b>       | <b>Aditivo Sikament<br/>103 (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Aditivo Sikaplast<br/>952 (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Microfibra PP<br/>12 mm (kg)</b>     |
| 636                                    | 205                          | 0,872                                 | 1,29                                               | 0,00 a 1,65                                         | 0,600                                   |
| 636                                    | 205                          | 0,872                                 | 1,29                                               | 0,00 a 2,35                                         | 0,600                                   |

**Fonte:** Empresa responsável pelo empreendimento, 2026.

A comparação entre os traços evidencia que a substituição do agregado miúdo ocorreu sem alterações significativas nos demais componentes da mistura. Ambos os concretos foram produzidos com consumo de cimento de 235 kg/m<sup>3</sup>, utilizando cimento Portland CPIII-40-RS, mantendo também os mesmos consumos de brita 9,5 mm (212 kg/m<sup>3</sup>), brita 19 mm (636 kg/m<sup>3</sup>) e água (205 L). Consequentemente, a relação água/cimento permaneceu constante em 0,872, indicando que a substituição do agregado miúdo não exigiu modificações nesse importante parâmetro de dosagem.

Da mesma forma, os dois traços foram especificados para a mesma faixa de consistência (*slump* entre 10 mm e 50 mm), condição necessária para atender às exigências executivas do revestimento do canal. Observa-se ainda que ambos utilizaram microfibra de polipropileno na dosagem de 0,600 kg, mantendo inalterado esse componente da mistura.

As diferenças entre os traços concentram-se, essencialmente, na substituição integral da areia natural (1010 kg/m<sup>3</sup>) pelo agregado miúdo artificial na mesma quantidade (1010 kg/m<sup>3</sup>). Também foram observadas pequenas diferenças na faixa de utilização do aditivo plastificante Sikaplast 952, sem alterações significativas na concepção geral da dosagem.

A manutenção praticamente integral da composição dos traços demonstra que o agregado miúdo artificial apresentou características suficientemente compatíveis com aquelas da areia natural, permitindo sua incorporação ao concreto sem necessidade de modificações relevantes na proporção dos demais materiais constituintes. Esse resultado está diretamente relacionado à proximidade observada entre as características granulométricas dos dois agregados, especialmente quanto ao módulo de finura, contribuindo para que a substituição pudesse ser realizada com reduzido impacto sobre o processo de dosagem.

Sob o ponto de vista operacional, esse aspecto representa uma vantagem para obras de grande porte, uma vez que reduz a necessidade de reformulação completa dos traços de concreto, simplificando a adaptação da central dosadora e mantendo a padronização do

processo produtivo. Dessa forma, a análise das dosagens evidencia que a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial pôde ser implementada preservando os principais parâmetros tecnológicos estabelecidos para os concretos de revestimento do canal.

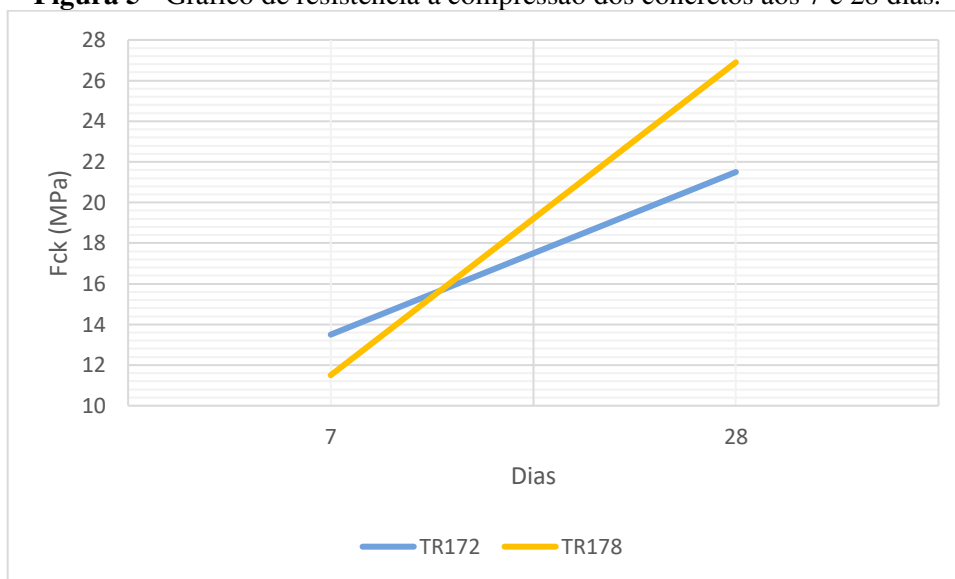
### 5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Após a caracterização dos agregados miúdos e a análise das dosagens dos concretos, procedeu-se à avaliação dos resultados dos ensaios de resistência à compressão, com o objetivo de verificar o desempenho mecânico dos concretos produzidos com agregado miúdo natural e agregado miúdo artificial. Os ensaios foram realizados em corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 mm × 200 mm, moldados a partir de concretos coletados diretamente de caminhões betoneira durante a execução da obra, garantindo que os resultados representassem as condições reais de produção.

Os concretos analisados correspondem aos traços TR172, produzido com agregado miúdo artificial, e TR178, produzido com areia natural. Ambos foram dosados para resistência característica ( $f_{ck}$ ) de 15 MPa e apresentaram abatimento (*slump*) de 40 mm no momento da coleta, valor compatível com a faixa de consistência especificada para os concretos de revestimento do canal.

Conforme apresentado na Figura 5, os resultados dos ensaios realizados aos sete dias demonstram que ambos os concretos apresentaram evolução satisfatória da resistência à compressão. O traço TR172 alcançou 13,5 MPa, enquanto o TR178 registrou 11,5 MPa. Embora o concreto produzido com agregado miúdo artificial tenha apresentado resistência inicial superior, ambos ainda se encontravam em fase de desenvolvimento das propriedades mecânicas, comportamento compatível com a utilização do cimento Portland CPIII-40-RS, cujo ganho de resistência ocorre de forma mais gradual.

Aos vinte e oito dias, idade de referência para a avaliação da resistência característica do concreto, verificou-se que ambos os traços superaram o  $f_{ck}$  de projeto (15 MPa). O TR172 atingiu resistência média de 21,5 MPa, enquanto o TR178 alcançou 26,9 MPa, evidenciando que os dois concretos atenderam aos requisitos de projeto.

**Figura 5** - Gráfico de resistência à compressão dos concretos aos 7 e 28 dias.

**Fonte:** Autor, 2026.

Observa-se que o concreto produzido com areia natural apresentou resistência à compressão superior àquela obtida com o agregado miúdo artificial. Entretanto, essa diferença não comprometeu o desempenho do concreto destinado ao revestimento do canal, uma vez que ambos os traços atenderam com ampla margem ao fck especificado de 15 MPa. Esse resultado demonstra que, nas condições analisadas, a utilização do agregado miúdo artificial não impediu o atendimento às exigências mecânicas estabelecidas para a aplicação estudada.

A diferença de resistência observada entre os dois concretos pode estar associada às particularidades físicas dos agregados empregados, especialmente ao maior teor de material pulverulento e à maior absorção de água apresentados pelo agregado miúdo artificial. Essas características podem influenciar a interação entre a pasta de cimento e os agregados, bem como o comportamento da mistura durante a hidratação. Entretanto, considerando que as dosagens permaneceram praticamente inalteradas e que os concretos apresentaram desempenho mecânico superior ao exigido em projeto, verifica-se que tais diferenças não inviabilizaram a utilização do agregado miúdo artificial na produção dos concretos analisados.

De forma geral, os resultados dos ensaios evidenciam que ambos os traços apresentaram desempenho compatível com a aplicação prevista, confirmando que a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial pode ser realizada sem prejuízo ao atendimento da resistência característica especificada para os concretos não estruturais empregados no revestimento do canal do Ramal Apodi.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial nos concretos não estruturais empregados no revestimento do canal do Ramal Apodi do Projeto de Integração do Rio São Francisco, por meio da análise de dados provenientes do controle tecnológico realizado durante a execução da obra.

A caracterização dos agregados demonstrou que tanto a areia natural quanto o agregado miúdo artificial apresentaram propriedades físicas e granulométricas compatíveis com sua utilização na produção dos concretos analisados. Embora tenham sido observadas diferenças entre os materiais, especialmente em relação ao teor de material pulverulento, à absorção de água e à dimensão máxima característica, os valores obtidos permaneceram compatíveis com os requisitos estabelecidos pela norma NBR 7211 (ABNT 2022a) para a aplicação considerada, evidenciando a adequação do agregado miúdo artificial às condições de utilização estudadas.

A comparação entre as dosagens revelou que a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo artificial foi realizada sem alterações significativas nos principais parâmetros da mistura. Os traços analisados mantiveram o consumo de cimento, a mesma relação água/cimento, os mesmos consumos de agregados graúdos, água e fibras, demonstrando que as características do agregado produzido na unidade de britagem da obra possibilitaram sua incorporação ao concreto sem necessidade de modificações relevantes no processo de dosagem.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão evidenciaram que ambos os concretos analisados atingiram valores superiores ao  $f_{ck}$  de projeto de 15 MPa aos vinte e oito dias de idade. Embora o concreto produzido com areia natural tenha apresentado resistência superior àquela observada no concreto produzido com agregado miúdo artificial, os dois traços atenderam plenamente às exigências mecânicas estabelecidas para os concretos não estruturais empregados no revestimento do canal, demonstrando que a substituição não comprometeu o desempenho requerido para essa aplicação.

Sob a perspectiva técnica, os resultados obtidos indicam que a utilização do agregado miúdo artificial produzido na própria obra constitui uma alternativa viável para a produção dos concretos analisados. Além de atender aos requisitos de desempenho mecânico, essa solução contribui para reduzir a dependência da extração de areia natural, favorece o aproveitamento dos materiais provenientes da britagem e pode representar benefícios operacionais e logísticos em empreendimentos de grande porte.

Dessa forma, conclui-se que, nas condições avaliadas neste estudo, a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo artificial mostrou-se tecnicamente viável para os

concretos não estruturais empregados no revestimento do canal do Ramal Apodi do Projeto de Integração do Rio São Francisco, atendendo às exigências de resistência e às condições de produção observadas durante a execução da obra.

Ressalta-se que as conclusões apresentadas estão restritas aos materiais, aos procedimentos executivos e aos dados analisados neste estudo de caso, não sendo recomendada sua generalização para outras obras ou aplicações sem a realização das devidas verificações técnicas. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a investigação do comportamento do agregado miúdo artificial em conjunto com o agregado miúdo natural, bem como a avaliação de propriedades relacionadas à durabilidade, à permeabilidade e ao desempenho em longo prazo, ampliando o conhecimento sobre sua utilização em obras de infraestrutura.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211**: agregados para concreto – requisitos. Rio de Janeiro, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. Rio de Janeiro, 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022c.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). **Projeto de integração do Rio São Francisco**: maior obra de infraestrutura hídrica do país. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/projeto-sao-francisco/perguntas-frequentes/o-que-e-o-pisf>. Acesso em: 26 jan. 2026.

DAMINELI, B. L.; KEMEID, F. M.; AGUIAR, P. S.; JOHN, V. M. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 8, p. 555-562, 2010.

EMPRESA RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO DO RAMAL APODI. **Relatórios internos de controle tecnológico: caracterização dos agregados, dosagens e ensaios de resistência à compressão**. Documento técnico interno, 2026.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1992.

ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto**: ciência e tecnologia. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 2 v.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-27072022-082553/>. Acesso em: 29 jul. 2026.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Manual de agregados para construção civil**. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete microstructure, properties, and materials**. McGraw-hill, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Bookman Editora, 2015.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

|                                                                                   |                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>         |
|                                                                                   | Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978                                     |
|                                                                                   | Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB) |
|                                                                                   | CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100                           |

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| Assunto:             | TCC                 |
| Assinado por:        | Italo Vidal         |
| Tipo do Documento:   | Dissertação         |
| Situação:            | Finalizado          |
| Nível de Acesso:     | Ostensivo (Público) |
| Tipo do Conferência: | Cópia Simples       |

Documento assinado eletronicamente por:

- Italo Vieira Vidal, DISCENTE (202122200036) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 25/08/2026 10:27:02.

Este documento foi armazenado no SUAP em 25/08/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1964482  
Código de Autenticação: cd49f60d73

