

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA**  
**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**

**VITÓRIA SEMÍRAMYS RAMOS LUNA LAURENTINO**

**AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DO CONCRETO AUTOCICATRIZANTE:  
APLICAÇÃO EM LAJE DE SUBPRESSÃO SUBTERRÂNEA NO  
EMPREENDIMENTO GET4YOU**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**2025**

**VITÓRIA SEMÍRAMYS RAMOS LUNA LAURENTINO**

**AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DO CONCRETO AUTOCICATRIZANTE:  
APLICAÇÃO EM LAJE DE SUBPRESSÃO SUBTERRÂNEA NO  
EMPREENDIMENTO GET4YOU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Tecnológico de Construção de Edifícios do Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Construção de Edifícios.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Cruz Teixeira

CAMPINA GRANDE – PB

2025

Catálogo na fonte:

Ficha catalográfica elaborada por Gustavo César Nogueira da Costa - CRB 15/479

L374a Laurentino, Vitória Semíramys Ramos Luna.

Avaliação microestrutural do concreto autocicatrizante: aplicação em laje de subpressão subterrânea no empreendimento Get4You / Vitória Semíramys Ramos Luna Laurentino. - Campina Grande, 2025.

48 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Construção de Edifícios) - Instituto Federal da Paraíba, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Cruz Teixeira.

1. Engenharia civil. 2. Concreto autocicatrizante. 3. Sustentabilidade na construção civil. 4. Durabilidade do concreto. I. Teixeira, Eduardo da Cruz. II. Título.

CDU 691.32

**VITÓRIA SEMÍRAMYS RAMOS LUNA LAURENTINO**

**AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DO CONCRETO AUTOCICATRIZANTE:  
APLICAÇÃO EM LAJE DE SUBPRESSÃO SUBTERRÂNEA NO  
EMPREENDIMENTO GET4YOU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Tecnológico de Construção de Edifícios do Instituto Federal da Paraíba – Campus Campina Grande, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Construção de Edifícios.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Cruz Teixeira

Aprovado em:        /        /

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Doutor Eduardo da Cruz Teixeira (Orientador)  
Instituto Federal da Paraíba

---

Professor Mestre Victor Moisés de Araújo Medeiros (Membro da banca)  
Instituto Federal da Paraíba

---

Professora Mestre Camila Macêdo Medeiros (Membro da Banca)  
Instituto Federal da Paraíba

*Dedico este trabalho, antes de tudo, à **minha mãe**, Maria da Salete, cuja presença amorosa continua viva em mim como luz e guia. Foi com seu exemplo de coragem, fé e ternura que aprendi a me levantar mesmo nos dias mais difíceis.*

*Aos **meus filhos**, Ana Carolina, João Lucas e Ana Livia, que me inspiram a ser melhor a cada passo e me lembram todos os dias do porquê vale a pena persistir.*

*Aos **mestres, amigos e colegas de jornada**, que me ensinaram com generosidade e com silêncio. À obra, à terra, ao concreto e à vida, que também se recompõe, racha e cicatriza.*

*E a **mim mesma**, pela persistência, pela fé, por ter me reconstruído tantas vezes como o próprio concreto: com rachaduras que cicatrizam, com novas forças que brotam de dentro, com estrutura que se renova, mesmo sob pressão, por nunca ter desistido, mesmo quando parecia impossível. Este trabalho é também uma prova da minha resiliência e do meu amor pela engenharia.*

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por ter guiado meus passos, me dado força nos dias difíceis e por nunca me deixar desistir dos meus sonhos.

A MARIVALDO, que fez parte desta trajetória com convivência, apoio e presença em momentos importantes.

Ao CORPO DOCENTE e à coordenação do curso, pela dedicação incansável e pelo compromisso com a formação de profissionais preparados e conscientes. Cada aula, orientação e desafio proposto foram essenciais para meu crescimento.

Ao MEU ORIENTADOR, pelas inúmeras oportunidades de pesquisa, pela escuta atenta e pelas contribuições valiosas em todas as etapas deste trabalho. Sua confiança foi um incentivo fundamental para que eu acreditasse no potencial da minha pesquisa.

À PLANO INCORPORAÇÕES, pela oportunidade de estágio e pelo ambiente de aprendizado constante, onde posso aplicar meus conhecimentos na prática e amadurecer como profissional da construção civil.

À CONSTRUTORA TROPICAL, por permitir o acompanhamento da obra do GET FOR YOU e por viabilizar a análise técnica em um cenário real de engenharia.

Aos COLEGAS DE CURSO, pela parceria, apoio mútuo e pelas trocas que tornaram a jornada mais leve e enriquecedora.

Dedico, por fim, um agradecimento especial ao INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA, pelas oportunidades que me foram ofertadas e pelo excelente esforço da instituição em oferecer um ensino público, gratuito e de qualidade. Sou grata por fazer parte dessa história.

*"Não troco o meu 'oxente' pelo 'ok' de ninguém."*  
**Ariano Suassuna**, *A Pedra do Reino* (1971), p. 87.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma investigação do concreto autocicatrizante, por meio da análise de suas propriedades microestruturais, especialmente no contexto de aplicação prática em uma obra real localizada em João Pessoa – PB. O estudo teve como base o concreto utilizado na execução da piscina invertida do empreendimento residencial Get4You, da Construtora Tropical, cuja função principal é conter a pressão de um lençol freático na base da edificação. A pesquisa teve como objetivo principal verificar a eficácia da autocicatrização promovida por aditivos cristalinos, comparando amostras com e sem adição do agente reativo. A caracterização foi realizada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), permitindo observar a densidade da matriz cimentícia, a formação de cristais e a eventual presença de compostos como etringita. As imagens obtidas em diferentes ampliações evidenciaram que o concreto com aditivo apresentou microestrutura mais densa, contínua, diferentemente do concreto de referência, que mostrou estrutura porosa e ausência de preenchimento em microfissuras. Tais resultados corroboram a literatura técnica e científica quanto ao aumento da durabilidade, da impermeabilidade e da resistência à penetração de agentes agressivos. A pesquisa também reforça o potencial da tecnologia de autocicatrização como solução sustentável e economicamente viável para obras expostas à umidade ou pressão hidrostática. Conclui-se que o concreto autocicatrizante analisado demonstrou desempenho superior em relação ao convencional, indicando sua aplicabilidade em projetos que demandam elevada resistência à degradação hídrica, contribuindo para a redução de custos com manutenção e ampliação da vida útil das estruturas.

**Palavras-chave:** Concreto autocicatrizante. Cristalização integral. Microscopia eletrônica de varredura.

## ABSTRACT

This study presents an investigation into the self-healing concrete through the analysis of its microstructural properties, with a focus on its practical application in a real construction site located in João Pessoa – PB, Brazil. The research was based on the concrete used in the construction of the inverted pool of the residential development Get4You, executed by Construtora Tropical, whose primary function is to withstand the hydrostatic pressure exerted by the groundwater table at the foundation level. The main objective was to evaluate the effectiveness of self-healing promoted by crystalline admixtures, comparing samples with and without the reactive agent. Characterization was carried out using Scanning Electron Microscopy (SEM), which allowed observation of the cementitious matrix density, crystal formation, and the presence of compounds such as ettringite. The images obtained at different magnifications revealed that the concrete with admixture exhibited a denser and more continuous microstructure, unlike the reference concrete, which showed a porous structure with unfilled microcracks. These findings are consistent with technical and scientific literature regarding the enhancement of durability, impermeability, and resistance to the ingress of aggressive agents. The study also reinforces the potential of self-healing technology as a sustainable and economically viable solution for structures exposed to moisture or hydrostatic pressure. It is concluded that the self-healing concrete analyzed demonstrated superior performance compared to conventional concrete, indicating its applicability in projects requiring high resistance to water-induced degradation, while contributing to reduced maintenance costs and extended service life of structures.

**Keywords:** Self-healing concrete. Crystalline admixture. Scanning Electron Microscopy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Microestrutura do concreto.....	18
Figura 02: Concreto autocicatrizante.....	20
Figura 03: Processo de cicatrização com fibras.....	22
Figura 04: Cortes Esquemáticos – Get4You.....	24
Figura 05: Preparação das armaduras e formas.....	25
Figura 06: Concretagem.....	26
Figura 07: Finalização.....	26
Figura 08: Betoneira.....	29
Figura 09: Areia.....	29
Figura 10: 25 golpes.....	31
Figura 11: Produção corpos de prova.....	32
Figura 12: Desenforme corpos de prova.....	32
Figura 13: Imersão em câmara úmida.....	32
Figura 14: Corpo na prensa.....	33
Figura 15: Ensaio de resistência.....	33
Figura 16: Prensa.....	33
Figura 17: Absorção por capilaridade.....	34
Figura 18: Microscópio eletrônico de varredura.....	35
Figura 19: Medição Slump.....	36
Figura 20: Amostra de concreto.....	40
Figuras 21, 23, 25, 27 e 29: Amostras REF.....	43
Figuras 22, 24, 26, 28 e 30: Amostras ADT.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Materiais.....	27
Tabela 02: Aglomerante.....	27
Tabela 03: Aditivo Impermeabilizante.....	28
Tabela 04: Família de concretos.....	30
Tabela 05: Proporções dos traços.....	30
Tabela 06: Idades dos concretos analisadas.....	31

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 01: Resultado resistência.....	37
Gráfico 02: Análise absorção.....	38

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

MEV: Microscopia Eletrônica de Varredura

C-S-H: Silicato de cálcio hidratado

Ca(OH)<sub>2</sub>: Hidróxido de cálcio

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

ADT: Aditivo

REF: Referência

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

NSF 61: Norma norte-americana da National Sanitation Foundation

ASTM C494-S: Norma da American Society for Testing and Materials

NBR NM: Norma Brasileira Mercosul

CP: Corpo de prova

LTM: Laboratório de Tecnologia de Materiais

EDS: Energy Dispersive Spectroscopy

ZT: Zona de transição interfacial

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>16</b>
2.1. Geral.....	15
2.2. Específicos.....	15
<b>3. Justificativa .....</b>	<b>17</b>
<b>4. Revisão de Literatura .....</b>	<b>18</b>
4.1. Concreto: composição e propriedades.....	17
4.2. Microestrutura do Concreto.....	17
4.3. Concreto Autocicatrizante.....	20
4.4. Microestrutura do Concreto autocicatrizante.....	22
<b>5. Materiais e Métodos.....</b>	<b>25</b>
5.1. Materiais.....	26
5.2. Métodos.....	28
5.2.1. Slump Test.....	31
5.2.2. Resistência à compressão axial.....	32
5.2.3. Absorção de água por capilaridade.....	34
5.2.4. Análise microestrutural dos concretos.....	34
<b>6. Resultados e Discussão.....</b>	<b>37</b>
6.1. Slump Test.....	36
6.2. Resistência à compressão axial.....	37
6.3. Absorção de água por capilaridade.....	38
6.4. Análise microestrutural dos concretos.....	40
<b>7. Conclusão .....</b>	<b>46</b>
<b>8. Referências .....</b>	<b>48</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A busca por soluções duráveis e sustentáveis na construção civil tem motivado o desenvolvimento de novos materiais que promovam o aumento da vida útil das estruturas e a redução de custos com manutenções corretivas. Entre essas inovações, destaca-se o concreto autocicatrizante, que se diferencia por sua capacidade de selar fissuras de forma autônoma, restaurando parcialmente sua integridade estrutural (Takagi; Lima; Helene, 2014; Rossignolo, 2009).

Esse tipo de concreto incorpora aditivos especiais, como os cristalinos, que reagem com produtos da hidratação do cimento e da água infiltrada, formando cristais insolúveis que preenchem os poros e as fissuras (Mehta; Monteiro, 2005; Neville, 1995). Essa reação é ativada em ambientes úmidos, o que o torna especialmente indicado para fundações, túneis, reservatórios, galerias pluviais, estações elevatórias, entre outras estruturas sujeitas à presença constante de umidade ou pressão hidrostática (Silva; Isaia, s.d.; Wilbert et al., 2017).

A relevância do tema se acentua frente aos desafios impostos pela presença de lençóis freáticos em áreas urbanas. Em João Pessoa – PB, a Construtora Tropical adotou o concreto autocicatrizante na execução da piscina invertida do empreendimento residencial Get4You. Essa estrutura, projetada para conter a pressão do lençol freático na base do edifício, exigiu um material com alto desempenho quanto à impermeabilidade e durabilidade, consolidando-se como um exemplo prático do uso dessa tecnologia em condições reais de obra.

Considerando a importância do comportamento do concreto frente à presença de água e a necessidade de comprovação da eficácia dos aditivos cristalinos, este trabalho propõe a análise das propriedades físicas e microestruturais do concreto autocicatrizante utilizado na obra mencionada. A investigação combina ensaios laboratoriais com técnicas de caracterização como a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), visando contribuir para o avanço do conhecimento técnico e científico sobre o tema (Andrade; Veiga, s.d.; Rossignolo, 2003).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Avaliar o comportamento do concreto autocicatrizante quanto às suas propriedades físicas e à formação de cristais em fissuras, por meio de análises mecânicas e microestruturais, com foco na aplicação prática em fundações sujeitas à umidade.

### **2.2. Específicos**

Os aspectos motivadores incluem:

- a) Avaliar as propriedades macroestruturais do concreto autocicatrizante;
- b) Caracterizar o aditivo de cristalização integral;
- c) Aprimorar os conhecimentos sobre a microestrutura dos concretos;
- d) Estimular o uso das técnicas de MEV na análise dos materiais cimentícios.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O presente trabalho parte da necessidade de avaliar, em condições reais de obra, a eficácia do aditivo cristalino incorporado ao concreto como solução de alto desempenho para estruturas expostas à umidade constante e à pressão hidrostática. A escolha do empreendimento Get4You como estudo de caso permitiu observar, de forma prática, os efeitos do processo de cristalização integral na estanqueidade e na durabilidade da estrutura, especialmente em laje de subpressão, localizada em área de lençol freático elevado. A investigação visa compreender como a tecnologia atua na selagem de fissuras e microvazios, promovendo um ambiente menos poroso e, conseqüentemente, menos vulnerável à ação de agentes agressivos.

Além disso, o concreto autocicatrizante se destaca como uma alternativa sustentável dentro da construção civil. Sua capacidade de autocura contribui diretamente para a redução de manutenções corretivas, minimizando o consumo de materiais, mão de obra e energia associados a reparos ao longo da vida útil da estrutura. Essa durabilidade ampliada gera um ciclo de vida mais eficiente, com menor impacto ambiental. O uso de aditivos cristalinos, por não comprometer a reciclabilidade do concreto e não exigir intervenções externas complexas, também favorece práticas construtivas alinhadas aos princípios da construção sustentável, reforçando o compromisso com a preservação de recursos naturais e a mitigação de impactos ambientais.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. Concreto: composição e propriedades**

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil em todo o mundo, sendo superado em volume apenas pela água. Sua popularidade deve-se à sua versatilidade, resistência mecânica, durabilidade e facilidade de moldagem (Neville, 1995; Mehta; Monteiro, 2005). Trata-se de um compósito formado, essencialmente, por cimento Portland, água, agregados miúdos e graúdos. Em algumas formulações, podem ser adicionados aditivos químicos ou minerais, que conferem ao material propriedades específicas, como maior trabalhabilidade, resistência ou durabilidade (Mindess; Young; Darwin, 2003).

Ao endurecer, o concreto forma uma matriz sólida que desempenha papel estrutural fundamental em diversas tipologias de obra. No entanto, esse material apresenta baixa resistência à tração e está sujeito à formação de fissuras ao longo do tempo, causadas por retração plástica, movimentações térmicas, sobrecargas, reações químicas ou ação de agentes ambientais. Essas fissuras, mesmo que microscópicas, tornam-se pontos de entrada para agentes agressivos, como água, dióxido de carbono e íons cloreto, que podem acelerar processos de degradação. (Silva; Isaia, s.d.).

Apesar de apresentar certa capacidade de autocura natural, essa propriedade é limitada e geralmente insuficiente para ambientes agressivos ou com baixa umidade. Diante disso, a indústria tem buscado soluções complementares, como o desenvolvimento de concretos com maior resistência à penetração de agentes insalubres e tecnologias que prolonguem a vida útil das estruturas, minimizando a necessidade de manutenções corretivas frequentes (Rossignolo, 2009).

### **4.2. Microestrutura do Concreto**

A microestrutura do concreto, ou seja, a organização interna dos seus poros, capilares, cristais e produtos de hidratação, é determinante para suas propriedades físicas e mecânicas. (Mehta; Monteiro, 2005; Neville, 1995). Essa microestrutura resulta da hidratação do cimento, que gera compostos como o gel silicato de cálcio hidratado (C-S-H), portlandita (hidróxido de cálcio) e outros hidratos que envolvem os agregados e preenchem os vazios entre eles, de acordo com a figura 01, onde observamos a microestrutura do concreto e uma maior segregação dos

materiais. A matriz formada por essa interação define aspectos essenciais como resistência à compressão, permeabilidade e durabilidade.

Figura 01: Microestrutura do concreto.



Fonte: Bonfim (2021)

A formação da microestrutura é influenciada por variáveis como a relação água/cimento (a/c), o tipo e a granulometria dos agregados, o uso de aditivos químicos ou minerais e as condições de cura. Uma microestrutura mais densa e homogênea, com baixa porosidade e mínima interconexão entre os poros, reduz significativamente a penetração de agentes agressivos, como íons cloreto, dióxido de carbono e sulfatos, tornando o concreto mais durável em ambientes agressivos (Rossignolo et al., 2017; Wilbert et al., 2017).

Os poros presentes no concreto, poros gel, poros capilares e microvazios, desempenham papel crucial na definição do comportamento do material frente à ação de agentes externos. Os poros gel são extremamente pequenos e ficam dentro da estrutura do gel de hidratação, retendo água de forma estável sem afetar a resistência; os poros capilares são maiores e formam caminhos preferenciais para a entrada de agentes agressivos, como cloretos e sulfatos; já os microvazios surgem como descontinuidades ao longo do tempo, podendo resultar de retração, variações térmicas ou tensões mecânicas. Quanto maior a interligação entre esses poros, maior a vulnerabilidade à migração de substâncias nocivas, que podem levar à corrosão de armaduras e à degradação prematura. Além disso, fissuras que surgem ao longo da vida útil da estrutura tendem a se integrar a essa rede de vazios, agravando os mecanismos de deterioração (Hall; William, 2012).

Portanto, o controle da microestrutura torna-se uma estratégia central no desenvolvimento de concretos de alto desempenho. Soluções tecnológicas voltadas à

modificação dessa estrutura interna, como o uso de aditivos que densificam a matriz cimentícia ou promovem mecanismos de selagem, são fundamentais para aumentar a vida útil das estruturas e mitigar os efeitos das agressões ambientais.

### 4.3. Concreto Autocicatrizante

O concreto autocicatrizante é um material inovador desenvolvido para solucionar um dos principais desafios da construção civil: o surgimento de fissuras e sua consequente influência na durabilidade das estruturas (Takagi; Lima; Helene, 2014; Mehta; Monteiro, 2005). Essas fissuras, muitas vezes inevitáveis ao longo da vida útil do concreto, funcionam como canais de entrada para agentes agressivos, como íons cloreto, sulfatos, dióxido de carbono e água, que comprometem o desempenho estrutural e aceleram processos de degradação, como a corrosão das armaduras.

Diferentemente do concreto convencional, o concreto autocicatrizante possui a capacidade de selar fissuras de forma autônoma, especialmente aquelas com aberturas de até 0,5 mm, sem necessidade de intervenção externa, conforme figura 02. Essa propriedade é alcançada principalmente por meio da incorporação de aditivos cristalinos à matriz do concreto. Esses aditivos reagem com os subprodutos da hidratação do cimento, como o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), formando cristais insolúveis que se depositam nos poros, micro capilares e fissuras da estrutura (Takagi; Lima; Helene, 2014; Mehta; Monteiro, 2005). Esse processo de colmatação é reativado sempre que há presença de umidade, o que torna o concreto mais impermeável e resistente ao avanço de agentes deletérios.

Figura 02: Concreto autocicatrizante



Fonte: Takagi (2013)

Com base nas pesquisas analisadas, destaca-se que a cicatrização promovida pelos aditivos ocorre em função da continuidade da hidratação e da formação de compostos como C-S-H, que bloqueiam os espaços vazios de maneira eficiente. A microestrutura resultante do concreto autocicatrizante se torna mais densa, menos porosa e com reduzida interconectividade entre os poros, o que limita significativamente a difusão de substâncias prejudiciais ao interior da estrutura (Wilbert et al., 2017). Isso representa uma evolução em relação ao comportamento do concreto convencional, cuja microestrutura, quando comprometida por fissuras, apresenta alta permeabilidade e necessidade frequente de manutenção.

Além dos aditivos cristalinos, a literatura também explora outras tecnologias de autocicatrização, como o uso de cápsulas poliméricas e agentes biológicos (bioconcreto), mas os aditivos cristalinos se destacam por sua viabilidade técnica, custo acessível e aplicabilidade em larga escala.

Ensaiois laboratoriais comprovaram a eficácia da autocicatrização química promovida pelos aditivos cristalinos, demonstrando redução significativa na permeabilidade e no avanço de agentes agressivos ao interior do concreto, sem comprometimento das propriedades mecânicas, como a resistência à compressão.

Na prática, o concreto autocicatrizante tem sido amplamente utilizado em obras com exposição à umidade, infiltração ou pressão hidrostática, como túneis, galerias, fundações, estações de tratamento de água e esgoto, reservatórios e piscinas. Os principais benefícios observados incluem a redução da necessidade de manutenção corretiva, o aumento da durabilidade da estrutura, a mitigação de falhas prematuras e a contribuição para a sustentabilidade, ao reduzir o consumo de recursos naturais, os custos operacionais e as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) associadas a reparos frequentes (Rossignolo, 2009).

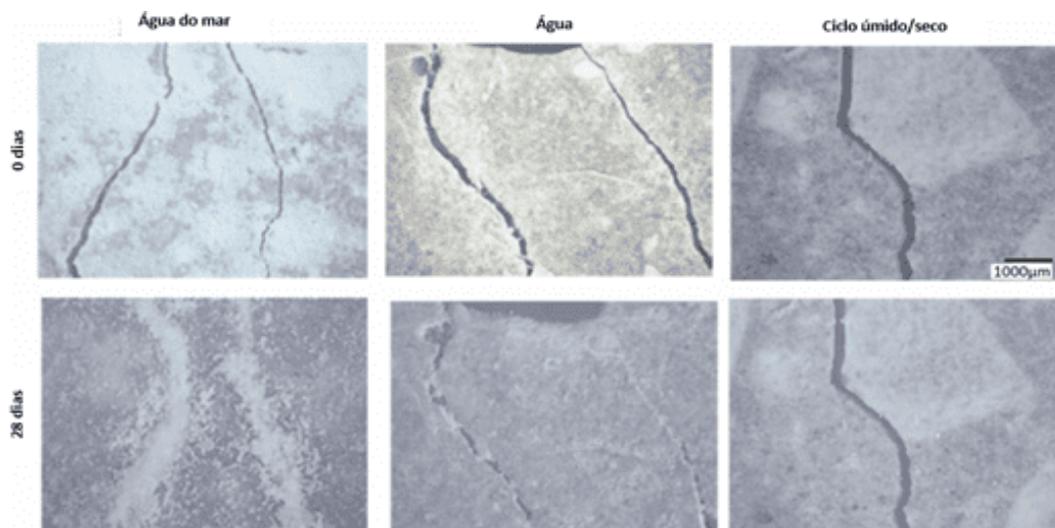
Portanto, o concreto autocicatrizante representa um avanço significativo na engenharia de materiais cimentícios, unindo desempenho técnico, eficiência econômica e responsabilidade ambiental. Sua aplicação responde às demandas contemporâneas por soluções duráveis, inteligentes e adaptadas a ambientes agressivos, consolidando-se como um material estratégico para a construção civil do presente e do futuro.

#### 4.4. Microestrutura do Concreto autocicatrizante

A microestrutura do concreto autocicatrizante apresenta características distintas em relação ao concreto convencional, resultado da adição de componentes específicos que conferem ao material a capacidade de selar fissuras de forma autônoma. Entre esses componentes estão microcápsulas com agentes de cura, fibras especiais e, principalmente, aditivos cristalinos reativos, que, ao entrarem em contato com a umidade, desencadeiam reações químicas que restauram a integridade da matriz cimentícia, de acordo com a figura 03 onde observamos ciclos úmido/seco, apresentado melhor resultado em relação ao concreto úmido.

O principal mecanismo envolvido é a cristalização integral, na qual a água penetra na matriz do concreto e reage com compostos como sílica, aluminatos e calcário, promovendo a formação de cristais insolúveis, como o C-S-H e a etringita. Esses cristais preenchem e selam fissuras e poros capilares, restaurando a estanquidade do material (Rossignolo, 2003; Andrade; Veiga, s.d.). Essa modificação leva a uma microestrutura mais densa, com menor porosidade interligada, dificultando o ingresso de agentes agressivos, como cloretos, sulfatos e dióxido de carbono.

Figura 03: Processo de cicatrização com fibras



Fonte: Tsampali e Stefanidou (2022)

Além disso, a autocicatrização se mantém ativa ao longo do tempo, desde que haja umidade disponível. A microestrutura modificada não compromete a resistência mecânica do concreto, sendo capaz de preservar suas propriedades estruturais mesmo em ambientes agressivos. Isso torna o material altamente indicado para aplicações em fundações profundas, túneis, galerias e estruturas expostas à pressão hidrostática.

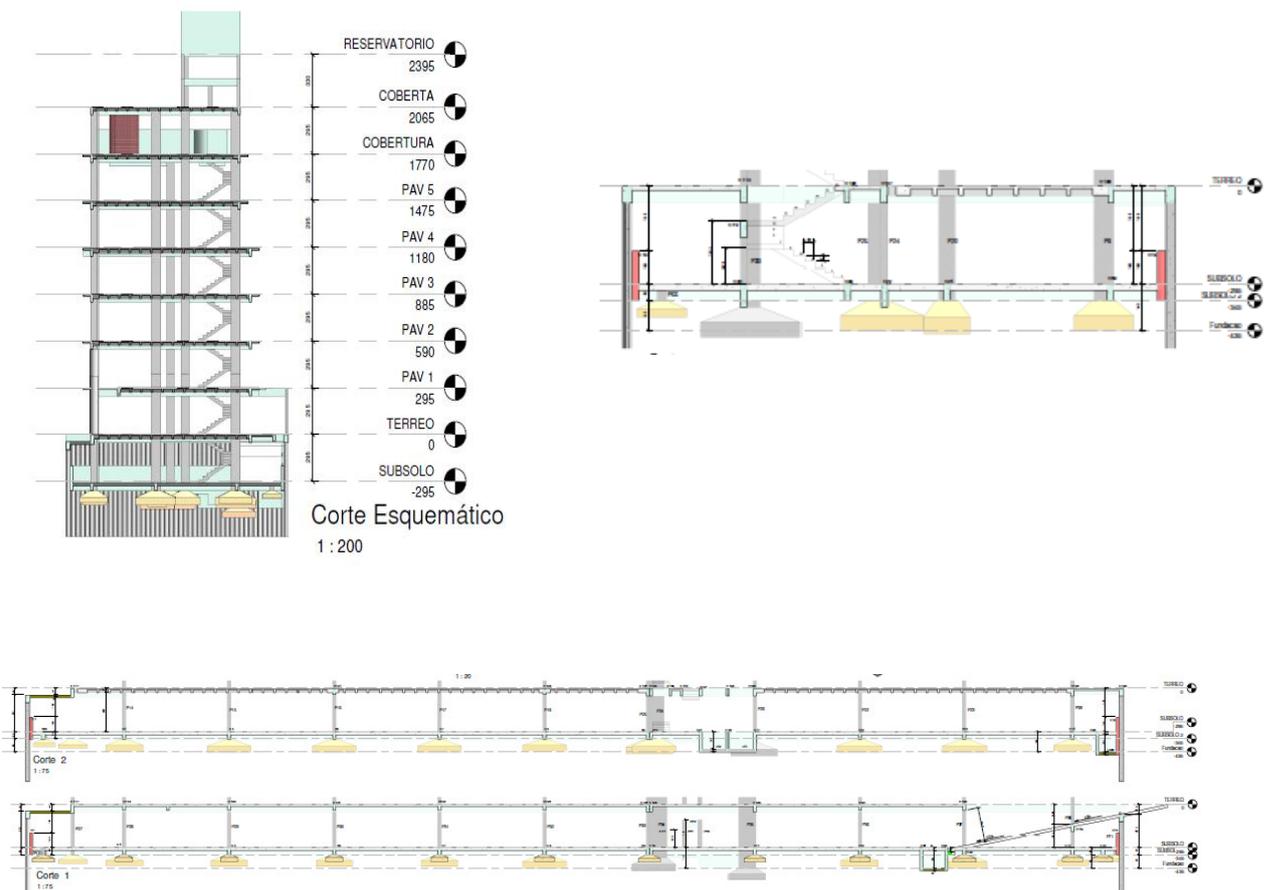
Contudo, a eficácia desse processo depende de fatores como a composição do concreto, a proporção e tipo de aditivo utilizado, as condições ambientais e a granulometria dos materiais. Por isso, estudos recentes têm se concentrado em otimizar essas variáveis para maximizar o desempenho da autocura. Também vêm sendo desenvolvidas técnicas não destrutivas de monitoramento, capazes de acompanhar a evolução da cicatrização ao longo da vida útil da estrutura (Wilbert et al., 2017).

Essas pesquisas têm revelado resultados promissores, apontando para a ampliação do uso de concretos inteligentes na construção civil. O concreto autocicatrizante, ao atuar diretamente na microestrutura do material, contribui para aumentar a durabilidade das construções, reduzir a necessidade de intervenções corretivas e promover práticas construtivas mais sustentáveis e econômicas.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa tem como base a análise do concreto autocatrizante a partir de sua aplicação prática no empreendimento residencial Get4You, desenvolvido pela Construtora Tropical, localizado na cidade de João Pessoa – PB. Nesse projeto, o material foi utilizado na execução de uma “piscina invertida”, uma solução técnica adotada para contenção do lençol freático na fundação da edificação. Essa aplicação demanda elevado desempenho em termos de impermeabilidade, estanqueidade e resistência à penetração de água, características que tornam o concreto autocatrizante especialmente indicado para situações em que há contato direto com umidade constante ou pressão hidrostática. A escolha por esse tipo de concreto visou não apenas reforçar a proteção contra infiltrações e a agressividade do ambiente subterrâneo, mas também reduzir a necessidade de manutenções corretivas ao longo da vida útil da estrutura. A obra se configura, portanto, como um estudo de caso estratégico, que permite avaliar, em condições reais de campo, a eficácia do processo de autocatrização por cristalização integral, conforme figura 04:

Figura 04: Cortes Esquemáticos – Get4You



Fonte: Planta vista (2022)

As análises visuais foram complementadas com registros fotográficos da execução da fundação, incluindo a concretagem da piscina invertida, demonstrando a aplicação prática do concreto autocicatrizante em obra real. Essas imagens reforçam o caráter inovador da aplicação do concreto autocicatrizante na fundação da edificação.

Na Figura 05, durante visita técnica, observa-se a preparação da armadura e das formas da fundação, etapa essencial para garantir a correta ancoragem e desempenho estrutural do concreto. A Figura 06 registra o momento da concretagem da piscina invertida, destacando a aplicação do concreto com aditivo cristalino diretamente na estrutura em contato com o solo saturado. Já a Figura 07 ilustra a finalização da concretagem e a vibração do concreto, procedimento determinante para a eliminação de vazios e formação de uma matriz densa, condição fundamental para o pleno funcionamento do mecanismo de autocura.

A documentação fotográfica reforça a aplicabilidade e os benefícios da tecnologia em campo, contribuindo para o embasamento técnico das conclusões e para a validação do uso do concreto autocicatrizante em estruturas sujeitas à infiltração contínua.

Figura 05: Preparação das armaduras e formas



Fonte: Autora (2023)

Figura 06: Concretagem



Fonte: Autora (2023)

Figura 07: Finalização



Fonte: Autora (2024)

Para entrar em consonância com os objetivos, que tangem às análises comportamentais de concretos preparados com aditivo ativado por cristalização integral, este trabalho adotou variáveis independentes, determinadas no âmbito da metodologia, como também as variáveis de respostas, de modo que, o estudo sistemático das variáveis adotadas, os efeitos causados no concreto autocicatrizante e as correlações das propriedades macro e microestruturais possam ser elucidadas.

Foram adotadas como variáveis independentes os diferentes consumos de cimento e a proporção de mistura com os demais constituintes dos concretos, sendo que a mistura de referência (REF) apresenta a proporção 1:2:2:0,6, enquanto a mistura com aditivo (ADT) segue a mesma proporção, porém com acréscimo de aditivo em relação à massa de cimento. Além disso, foi considerado o teor de incorporação do aditivo ativado por cristalização integral, fixado em 1%, e a idade do concreto, avaliada aos 28 e 91 dias.

## 5.1. Materiais

As variáveis de resposta adotadas neste projeto de pesquisa visaram à caracterização das propriedades dos concretos, abrangendo desde a resistência mecânica até a microestrutura, dentro de um contexto sistemático de análises capaz de subsidiar o estudo com dados que envolvem tanto as escalas macro quanto microestruturais. Assim, foram consideradas como variáveis de resposta: a resistência mecânica à compressão axial, a absorção por capilaridade,

a morfologia microestrutural da matriz cimentícia e a análise microestrutural do mecanismo de cristalização.

Sobre os procedimentos metodológicos adotados neste artigo, materiais e sua descrição conforme tabela 01.

Tabela 01: Materiais

<b>Materiais</b>	<b>Descrição</b>
Aglomerante	Cimento CP V – ARI MAX
Agregado Miúdo	Areia média quartzosa
Agregado graúdo	Brita granítica (19 mm)
Água	Água fornecida pela CAGEPA
Aditivo	PENETRON ADMIX®

Fonte: Autora (2024)

Com intuito de utilizar um cimento de maior teor de clínquer, que não possui adições pozolânicas em sua composição evitando que os resultados sejam influenciados, optou-se o Cimento Portland CP V – ARI MAX (alta resistência inicial) da marca Nacional, fabricado pela Nacional Tec, Pitimbu - PB, a tabela 02 apresenta dados de caracterização do aglomerante utilizado (ABNT, 1996, ABNT, 2015, ABNT, 2017).

Tabela 02: Aglomerante

<b>Propriedade (fornecidos pelo fabricante)</b>	<b>Resultado</b>	<b>Norma</b>
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,06	ABNT NBR 16605
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4.660	ABNT NBR 16372
Perda ao fogo (%)	5,34	ABNT NBR NM 18
Início de pega (min.)	175	ABNT NBR 16607
Fim de pega (min.)	235	ABNT NBR 16607
Resistência à compressão (7 dias) MPa	41,5	ABNT NBR 7215
Determinação da consistência padrão (%)	31,8	ABNT NBR 16606

Fonte: Autora (2024)

Para a produção do concreto autocicatrizante neste trabalho, foi utilizado um aditivo para impermeabilização por cristalização integral, incorporado à mistura de concreto no momento de sua fabricação. O PENETRON ADMIX® é composto por cimento Portland, compostos químicos ativos e rastreador químico, conforme tabela 03 abaixo:

Tabela 03: Aditivo Impermeabilizante

<b>Propriedade (fornecidas pelo fabricante)</b>	<b>Descrição</b>
Tipo	Aditivo impermeabilizante por cristalização integral
Composição	Cimento Portland, areia de sílica tratada, compostos químicos ativos
Modo de ação	Formação de cristais insolúveis que preenchem poros e microcapilares
Selagem de fissuras	Até 0,4–0,5 mm
Pressão hidrostática	Resistente a pressões extremas (lado positivo ou negativo)
Permite passagem de vapor	Respira
Não tóxico	Sim, certificado NSF 61 para água potável
Ação permanente	Sem restrições climáticas
Normas atendidas	Excede ASTM C494-S
Durabilidade adicional estimada	+60 anos (em ambientes severos)
Dosagem recomendada	0,8%–1,0% da massa de cimento
Apresentação e validade	Saco de 18kg ou balde de 25kg; validade de 12 meses em condições ideais

Fonte: Autora (2025)

Esses compostos ativos reagem com a umidade do concreto fresco e com os produtos da hidratação do cimento, formando uma estrutura cristalina insolúvel nos poros e capilares do concreto. Dessa forma, o concreto torna-se permanentemente selado contra a penetração de água ou outros líquidos em qualquer direção. Além disso, o concreto é protegido contra deterioração devido a agentes agressivos presentes na atmosfera.

## 5.2. Métodos

A produção do concreto foi realizada no laboratório de materiais do IFPB, do Campus Campina, utilizando uma betoneira de eixo inclinado, semelhante às usadas em obras, com capacidade para até 120 litros, conforme figura 08, e após a pesagem dos materiais, conforme figura 09, o processo de mistura seguiu a seguinte ordem para o traço de referência: o agregado graúdo, depois uma parte da água, seguida do cimento, agregado miúdo e, por fim, o restante

da água. O processo para o traço com aditivo foi: o agregado graúdo, depois uma parte da água, seguida do cimento, aditivo cristalizante, agregado miúdo, e, por fim, o restante da água.

Os corpos de prova foram moldados seguindo os critérios da NBR 5738 e submetidos ao ensaio de compressão axial conforme a NBR 5739, nas idades de 28 e 91 dias, visando observar a evolução da resistência mecânica ao longo do tempo.

Além disso, a caracterização da microestrutura foi conduzida por meio da técnica MEV, método amplamente utilizado na análise de materiais cimentícios, permitindo a observação detalhada da densidade da matriz, da presença de fissuras e da formação de cristais promovida pelos aditivos cristalinos. Os ensaios de compressão forneceram dados quantitativos sobre a resistência mecânica, enquanto a MEV possibilitou a análise qualitativa da autocicatrização, especialmente quanto à colmatação de fissuras e preenchimento dos poros.

A aplicação prática do concreto com aditivo cristalino na obra do empreendimento Get4You reforçou a importância de se analisar esse tipo de material sob condições reais, especialmente em ambientes sujeitos à infiltração ou pressão hidrostática. A combinação entre desempenho mecânico e análise microestrutural oferece uma visão ampla e integrada da eficácia da tecnologia de autocicatrização, contribuindo para validar sua viabilidade técnica e potencial sustentável na construção civil contemporânea.

Figura 08: Betoneira



Fonte: Autora (2024)

Figura 09: Areia



Fonte: Autora (2024)

As variáveis de respostas, determinadas pelas variáveis independentes, serão analisadas conforme descrito no início deste Capítulo. A tabela 04 apresenta a preparação dos concretos.

Tabela 04: Família de concretos

<b>Famílias</b>	<b>Consumo de cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de Aditivo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistência mecânica teórica (Mpa)</b>
C40 (REF)	346		40
C40 (ADT)	346	3,46	40

Fonte: Autora (2024)

Para alcançar os valores teóricos de resistência mecânica à compressão, as misturas de concreto seguiram as proporções da tabela 05, com base na caracterização dos constituintes envolvidos.

Tabela 05: Proporções dos traços

<b>Famílias</b>	<b>Cimento (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Areia (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Brita 19 (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Aditivo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Água (l/m<sup>3</sup>)</b>
C40 (REF)	346	790	790		148
C40 (ADT)	346	790	790	3,46	148

Fonte: Autora (2024)

De acordo com os procedimentos metodológicos, para cada família de concreto, foram preparados corpos de prova cilíndricos em moldes metálicos de 10 x 20 cm (ABNT, 2016, ABNT, 2007). As variáveis estudadas e as idades específicas estão na tabela 06.

Tabela 06: Idades dos concretos analisadas

Variáveis	Idades (dias)	Corpos de prova (cm)
Resistência a compressão	28 e 91	10 x 20
MEV	91	3 x 3 x 1

Fonte: Autora (2024)

### 5.2.1. Slump Test

Após a mistura estar homogênea, foi realizado o teste de abatimento pelo método do tronco de cone, como na figura 10, conforme a norma NBR NM 67.

Figura 10: 25 golpes



Fonte: Autora (2024)

Em seguida, os corpos de prova foram moldados de acordo com as diretrizes da NBR 5738 (ABNT, 2015) e metodologia sugerida por Rossignolo (2003). Para cada traço produzido, foram feitos oito corpos de prova (CP) cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme figura 11, identificados e armazenados em um ambiente protegido, com temperatura controlada de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e desmoldados após 24 horas, visto na figura 12. Em seguida, permaneceram na câmara úmida por mais 27 dias, de acordo com a figura 13. De acordo com a metodologia descrita foram submetidos aos ensaios de resistência mecânica à compressão axial, absorção por capilaridade, MEV, para melhor compreensão dos impactos da cristalização

integral na durabilidade e desempenho do material, contribuindo para seu aprimoramento e aplicação na construção civil.

Figura 11: Produção corpos de prova



Fonte: Autora (2024)

Figura 12: Desenforme corpos de prova



Fonte: Autora (2024)

Figura 13: Imersão em câmara úmida



Fonte: Autora (2024)

### 5.2.2. Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão, conforme figura 14 e 15, seguiu as prescrições da NBR 5739, prensa Matest 100t, conforme figura 16 (ABNT, 2018).

Figura 14: Corpo na prensa



Fonte: Autora (2024)

Figura 15: Ensaio de resistência



Fonte: Autora (2024)

Figura 16: Prensa



Fonte: Autora (2024)

### 5.2.3. Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade corresponde à quantidade de água absorvida por área superficial do corpo de prova em um intervalo compreendido entre duas pesagens consecutivas (ABNT, 2012). Neste trabalho, ensaiaram-se 2 corpos de prova, sendo um REF com peso inicial de 3398g e outro com ADT com peso inicial de 3436, para a idade de 28 dias, de acordo com a figura 17.

Figura 17: Absorção por capilaridade



Fonte: Autora (2024)

Os cálculos foram feitos para determinar a absorção por capilaridade (%), que representa o aumento do peso do concreto ao longo do tempo em relação ao peso inicial, usando a seguinte equação:

$$\text{Absorção (\%)} = \frac{P_t - P_0}{P_0} \times 100$$

### 5.2.4. Análise microestrutural dos concretos

O ensaio do MEV, foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Materiais (LTM) na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde foi utilizado um microscópio de varredura a vácuo com EDS acoplado, FEI Inspect S50, para identificação da formação de cristais e observação de fissuras seladas conforme visto na figura 18.

Figura 18: Microscópio eletrônico de varredura



Fonte: Autora (2024)

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa experimental deste trabalho compreendeu uma série de ensaios laboratoriais e análises microestruturais realizadas com o objetivo de avaliar o desempenho do concreto autocicatrizante em comparação ao concreto de referência.

### 6.1. Slump Test

Com um valor esperado de  $120 \pm 20$  mm para todas as amostras, de acordo com a figura 19 (ABNT, 1998).

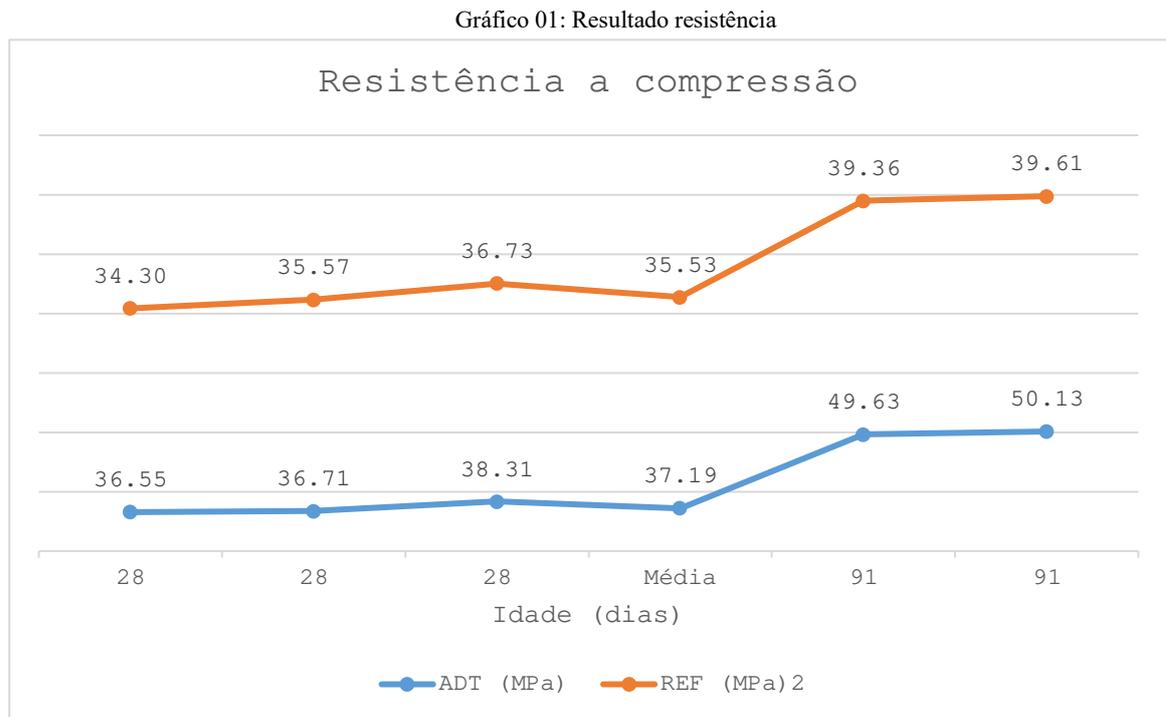
Figura 19: Medição Slump



Fonte: Autora (2024)

## 6.2. Resistência à compressão axial

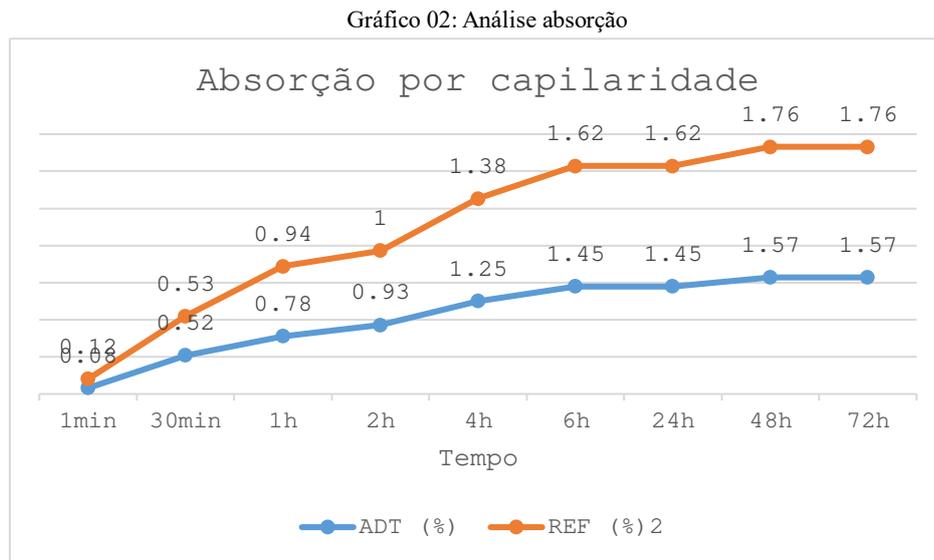
Para o ensaio foram utilizados 12 corpos de prova submersos, sendo 6 REF e 6 ADT. Os resultados obtidos estão apresentados no gráfico 01.



A análise ainda mostra que o teor de aditivo exerce influência significativa sobre o resultado de resistência à compressão: houve um aumento de resistência com a adição do aditivo ao concreto, quando comparado ao concreto referência. Esse incremento foi quantificado em 6,34%, demonstrando que o uso do aditivo cristalino não apenas promove melhorias na microestrutura e na impermeabilidade, mas também contribui positivamente para o desempenho mecânico do material.

### 6.3. Absorção de água por capilaridade

Os resultados apresentados correspondem à média dos valores individuais obtidos ao longo das 72 horas de ensaios, de acordo com o gráfico 02.



Fonte: Autora (2024)

A análise dos dados de absorção por capilaridade permite observar como os dois tipos de concreto absorvem água ao longo do tempo. O concreto de referência, apresenta absorção inicial rápida, especialmente nas primeiras horas, onde o peso do concreto aumenta consideravelmente até cerca de 6 horas, após 6 horas, ainda há um pequeno aumento no peso, sugerindo que estão com água e preenchendo os poros do concreto.

O concreto com aditivo cristalizante, exibe uma absorção mais lenta nos primeiros momentos, indicando menor permeabilidade, que continua ao longo do tempo, mas em um ritmo controlado, mesmo após 6 horas, não há mais ganho de peso, indicando que o material atingiu seu limite de absorção, sugerindo que o aditivo continua reagindo e preenchendo os poros do concreto.

A estabilização ocorre mais tarde do que no concreto com cristalizante, mas com um percentual de absorção menor, indicando melhor desempenho em termos de impermeabilização, que atua reduzindo a absorção ao longo do tempo, pois promove a formação de cristais nos poros do concreto, bloqueando a entrada de água.

Estudos prévios sobre absorção capilar indicam que a umidade em materiais porosos segue a equação exponencial utilizada na simulação (Neville, 1995). A relação entre o coeficiente de capilaridade e a estrutura do material também foi descrita por Hall e Hoff (2012), demonstrando que materiais com maior porosidade interconectada tendem a apresentar coeficientes  $k$  mais elevados, resultando em uma absorção mais rápida.

Os dados obtidos reforçam que o uso de aditivos pode influenciar significativamente tanto a taxa de absorção quanto a capacidade final de retenção de líquidos, aspecto fundamental na seleção de materiais para aplicações específicas, como em materiais de construção, biomateriais ou embalagens absorventes (Mehta; Monteiro, 2014).

#### 6.4. Análise microestrutural dos concretos

Foram analisadas amostras de concreto com e sem aditivo cristalino, com o objetivo de comparar a densidade da matriz cimentícia, a formação de produtos de hidratação nos poros e a presença de compostos associados ao processo de autocatrização, como a etringita. A seleção das amostras considerou seções centrais dos corpos de prova, conforme metodologia recomendada por Rossignolo (2003), priorizando áreas próximas à interface entre os agregados e a pasta de cimento (Andrade; Veiga, s.d.). Os cortes foram realizados em planos perpendiculares à direção de moldagem, concentrando-se nas regiões que continham agregados com até 1 cm de diâmetro visível na superfície de análise.

Para a preparação das amostras destinadas à MEV, no modo de elétrons retroespalhados, cada corpo foi seccionado em lâminas de 3,0 x 3,0 cm, com 1 cm de espessura, utilizando serra de baixa rotação com disco diamantado, como visto na figura 20. Após o corte, as amostras foram imersas em álcool isopropílico por 24 horas para interromper a hidratação da matriz cimentícia. Em seguida, foram submetidas à secagem em estufa ventilada a 35 °C por 12 horas e posteriormente armazenadas em dessecador a  $23 \pm 2$  °C por mais 24 horas.

Figura 20: Amostra de concreto



Fonte: Autora (2024)

As amostras passaram por processo de impregnação a vácuo com resina epóxi de baixa viscosidade, seguida de embutimento a frio, o que permitiu preservar a integridade da microestrutura durante a análise. Após limpeza por ultrassom com álcool isopropílico, foi realizada a metalização com ouro, procedimento necessário para evitar o efeito de carregamento eletrostático em materiais não condutores, garantindo a qualidade das imagens no MEV (Andrade e Veiga, 1998).

As micrografias obtidas permitiram identificar variações na morfologia interna do concreto, observando-se especialmente a zona de transição interfacial (ZT) entre agregados e pasta de cimento, além da presença de produtos hidratados, como o gel C-S-H, e o preenchimento de microfissuras por cristais formados a partir da ação do aditivo. A análise concentrou-se na avaliação da colmatação de vazios, demonstrando a atuação eficaz do aditivo cristalino na autocura química das fissuras e no aumento da densidade da matriz (Wilbert et al., 2017; Rossignolo et al., 2017).

A análise microestrutural das amostras de concreto foi realizada por MEV, em ampliações progressivas, para comparação entre o concreto REF e o concreto com ADT. As imagens obtidas permitiram examinar aspectos relevantes da matriz cimentícia, como a densidade, a presença de poros, microfissuras e a ocorrência de produtos de hidratação associados à autocicatrização.

Em ampliação de 1000x, nas figuras 21 REF e figura 22 ADT, as observações reiteram os padrões anteriores: a amostra com aditivo cristalino evidencia uma microestrutura mais coesa, com preenchimento interno por produtos de hidratação tardia, enquanto a amostra de referência permanece com vazios abertos e estrutura interna heterogênea.

Na ampliação de 1.00kx como demonstra a figura 23, a amostra REF apresenta matriz porosa com presença de vazios não preenchidos, ausência de colmatação e baixa densidade de produtos hidratados. Já a amostra ADT na figura 24, sob a mesma ampliação, revela maior preenchimento interno, com poros parcialmente ocupados por produtos resultantes de reações químicas entre o aditivo e o meio úmido.

Na sequência, na ampliação de 2.00kx, a figura 25 da REF evidencia a continuidade de microfissuras sem produtos de selagem, demonstrando baixa resistência ao avanço de agentes agressivos. Por outro lado, a figura 26 da ADT mostra precipitação de cristais com morfologia acicular e preenchimento parcial de fissuras, indicando a atuação do processo de autocicatrização química.

Na ampliação de 5.00kx, de acordo com a figura 27 da REF apresenta estrutura com partículas esparsas e ausência de preenchimento dos vazios, o que mantém a vulnerabilidade à penetração de líquidos. Em contrapartida, a figura 28 da ADT mostra colmatação de poros e maior densidade microestrutural, com formação de produtos secundários visíveis.

Com 10.00kx de ampliação, a figura 29 da REF reforça o padrão de matriz frágil e desprotegida, sem vestígios de autocura. Em oposição, a figura 30 da ADT revela presença abundante de cristais ocupando as fissuras, com alta aderência à matriz e preenchimento quase total das descontinuidades observadas.

Essas análises confirmam que o concreto autocicatrizante apresenta desempenho superior em termos de densificação microestrutural, selagem de fissuras e resistência à penetração de agentes agressivos. A presença de aditivo cristalino promove mudanças significativas na configuração interna do material, resultando em maior durabilidade e menor necessidade de intervenções corretivas em ambientes agressivos.

Figura 21: Amostra REF

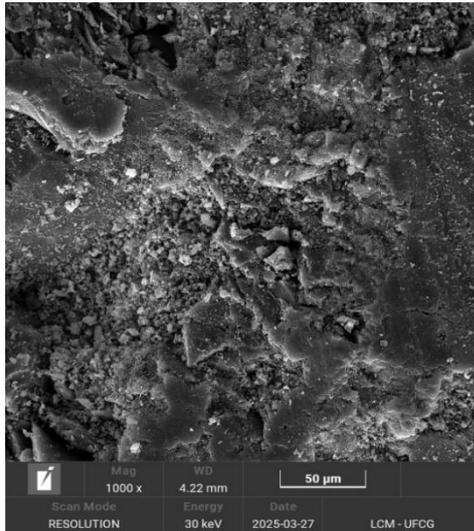


Figura 23: Amostra REF

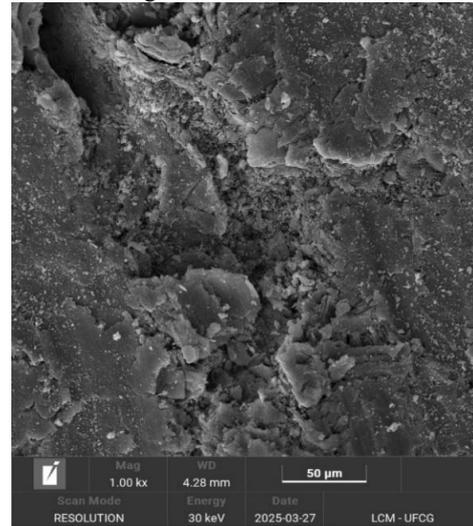


Figura 25: Amostra REF

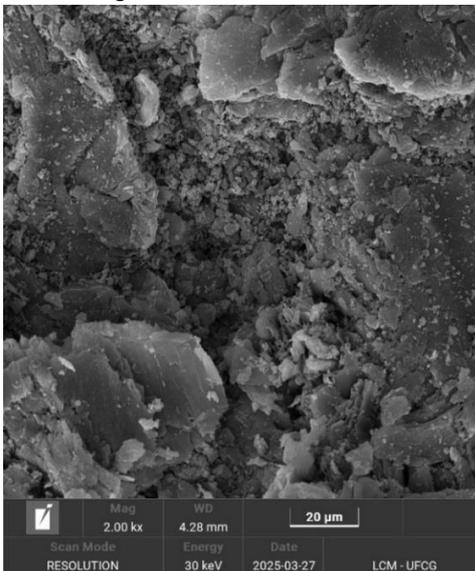


Figura 27: Amostra REF

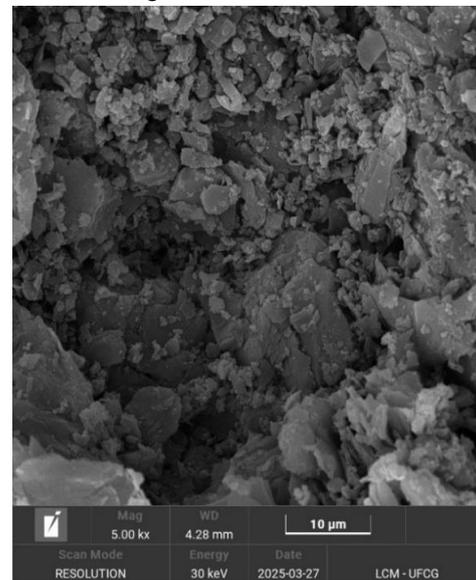
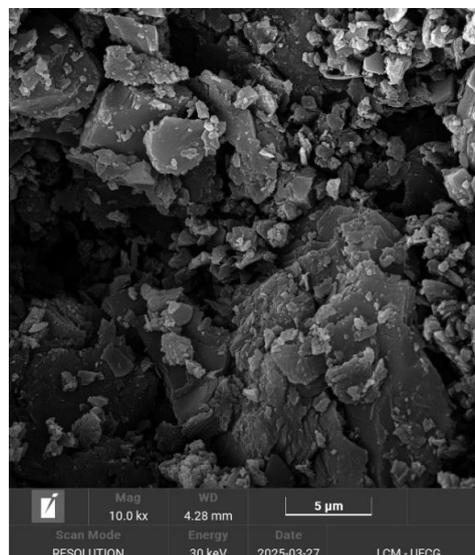


Figura 29: Amostra REF



Fonte: Imagens MEV (2025)

Figura 22: Amostra ADT

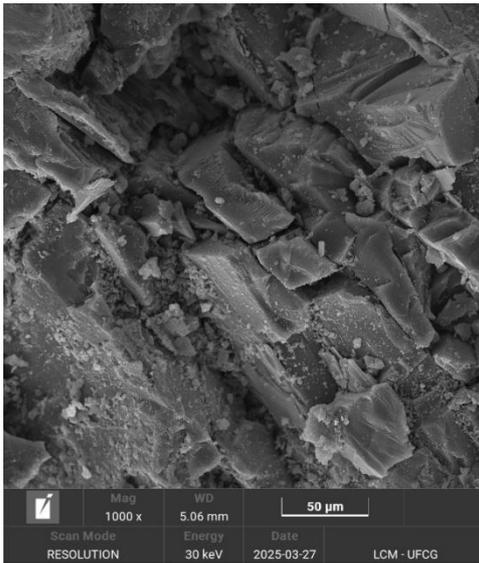


Figura 24: Amostra ADT

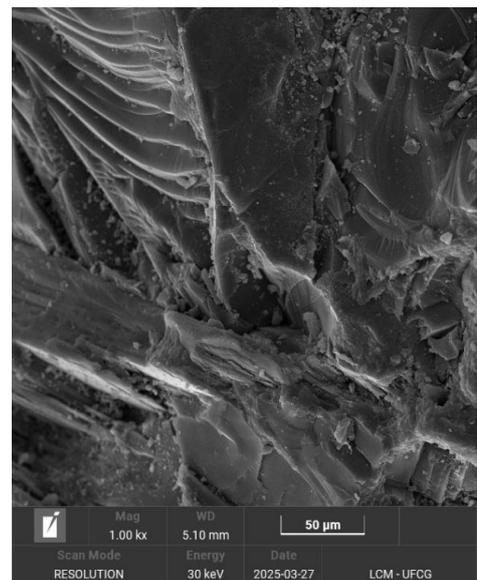


Figura 26: Amostra ADT

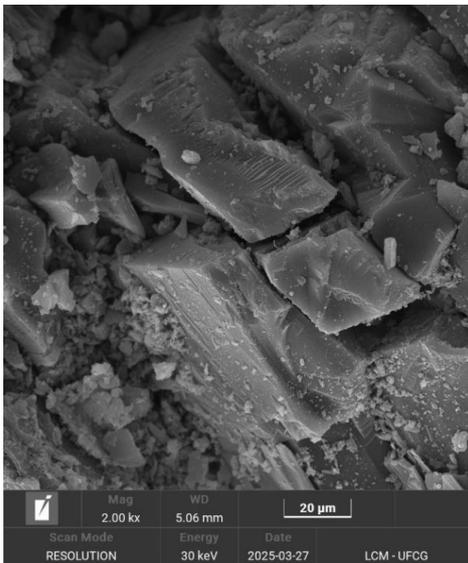


Figura 28: Amostra ADT

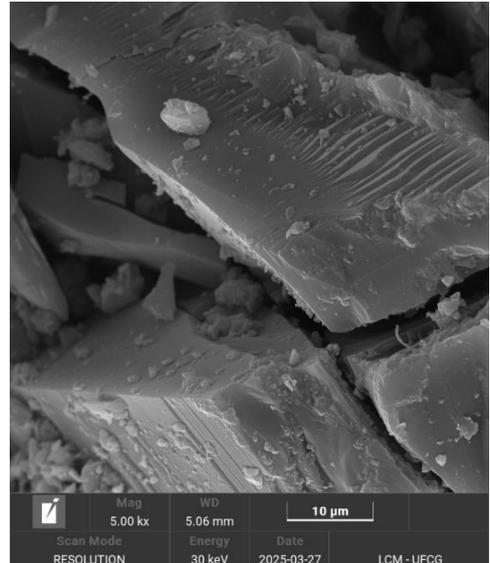
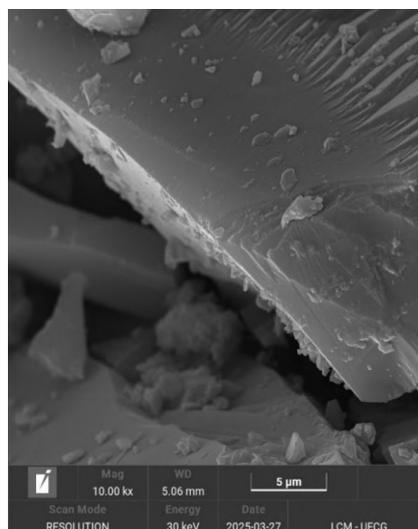


Figura 30: Amostra ADT



Fonte: Imagens MEV (2025)

## 7. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o concreto autocicatrizante utilizado na estrutura da piscina invertida do empreendimento Get4You, da Construtora Tropical, na cidade de João Pessoa – PB. Por meio da comparação com um concreto de referência (sem aditivo), foram realizadas análises microestruturais por MEV, ensaios de resistência à compressão e absorção por capilaridade, que permitiram observar diferenças significativas entre os dois tipos de concretos avaliados.

As imagens obtidas por MEV revelaram que o concreto ADT apresentou uma matriz cimentícia visivelmente mais densa e contínua, com poros parcialmente preenchidos por cristais (Mehta; Monteiro, 2014; Silva; Isaia, 2017). Notou-se, especialmente nas imagens com aumentos de 5.00kx e 10.00kx, a presença de formações cristalinas típicas do processo de autocicatrização, com destaque para estruturas compatíveis com etringita, o que comprova a eficácia do aditivo em promover o selamento de vazios e fissuras internas. Em contraste, o concreto REF demonstrou microestrutura mais porosa, com falhas visíveis na zona de transição pasta-agregado e ausência de preenchimento nos microvazios.

A aplicação da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi essencial para a compreensão aprofundada do comportamento do concreto autocicatrizante em escala microscópica. Essa técnica permitiu a observação direta da formação e distribuição dos cristais gerados pelos aditivos, bem como a avaliação da densidade da matriz cimentícia, da conectividade entre os poros e da presença de fissuras seladas. Ao revelar detalhes da microestrutura com alta resolução, o MEV contribuiu significativamente para correlacionar as propriedades visuais com os resultados dos ensaios físicos, consolidando-se como uma ferramenta indispensável na validação do desempenho do concreto autocicatrizante.

Nos ensaios de resistência à compressão, observou-se que o concreto com ADT superou o concreto REF, com um ganho médio de resistência de 6,34% aos 28 dias e valores ainda mais elevados aos 91 dias, superando 50 MPa. Isso demonstra que a presença do aditivo não compromete as propriedades mecânicas e, ao contrário, contribui para seu aprimoramento ao longo do tempo.

A análise de absorção de água por capilaridade também evidenciou a superioridade do concreto autocicatrizante, que apresentou absorção significativamente menor ao longo das 72 horas de ensaio. O comportamento do concreto com aditivo indicou uma microestrutura menos permeável e com menor conectividade entre os poros, o que reforça a eficiência do mecanismo

de cristalização integral em bloquear o avanço da água e, por consequência, aumentar a durabilidade da estrutura.

Essa diferença microestrutural se alinha às evidências teóricas discutidas na revisão de literatura, confirmando que o concreto autocicatrizante possui maior resistência à penetração de agentes agressivos, maior impermeabilidade e menor risco de corrosão das armaduras, contribuindo de forma expressiva para o aumento da durabilidade das estruturas. Além disso, destaca-se que a aplicação prática do concreto autocicatrizante em uma estrutura de contenção de lençol freático demonstra sua viabilidade técnica e eficiência em ambientes com alta umidade ou pressão hidrostática.

Portanto, conclui-se que o uso de aditivos cristalinos representa uma alternativa eficiente e sustentável para obras que exigem elevado desempenho frente à durabilidade e à impermeabilidade, promovendo economia com manutenção e ganhos ambientais com o aumento da vida útil das estruturas. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a ampliação dos estudos com a inclusão de ensaios de durabilidade a longo prazo e análise do desempenho mecânico sob diferentes condições ambientais.

## 8. REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 $\mu$ m, por lavagem*. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. *NBR NM 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2006.

ANDRADE, N. P. H.; VEIGA, F. N. **Microscopia eletrônica de varredura. Informativo, Furnas Centrais Elétricas S.A.** [s.l: s.n.].

HALL, C.; WILLIAM, D. Moisture expansivity of fired-clay ceramics. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 95, n. 4, p. 1204–1207, 2012.

MAROTTA, Luiza Ignez Mollica et al. Análise de resistência à compressão do concreto utilizando microssilica em substituição ao cimento. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 12, p. 20980-20999, 2023.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. J. **Concrete: Microstructure, properties, and materials**. 3. ed. Nova Iorque, NY, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2005.

MINDESS, S.; YOUNG, J. F.; DARWIN, D. Concrete Prentice Hall PTR. **Upper Saddle River**, 2003.

NEVILLE, Adam M. et al. **Properties of concrete**. London: Longman, 1995.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura. Em: **Tese (doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais)**. São Carlos: 2003.

ROSSIGNOLO, J. A. Interfacial interactions in concretes with silica fume and SBR látex. **Construction and Building Materials**, v. 23, 2009.

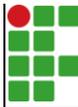
ROSSIGNOLO, J. A. et al. Improved interfacial transition zone between aggregate-cementitious matrix by addition sugarcane industrial ash. **Cement and Concrete Composites**, p. 157–167, 2017.

SILVA, T. J. Contribuição ao estudo dos concretos de alto desempenho: propriedades mecânicas, durabilidade, microestrutura. Em: **Tese (doutorado em Engenharia de Materiais)**. [s.l: s.n.].

SILVA, T.; JOSÉ DA ISAIA, G. Mecanismos de transporte de massa no concreto. Em: **Concreto: Ciência e Tecnologia**. [s.l: s.n.]. p. 809–847.

TAKAGI, E. M.; LIMA, M. G.; HELENE, P. R. L. Concretos autocicatrizantes com cimentos brasileiros de escória de alto forno ativados por catalisador cristalino. **Concreto & Construções**, n. 73, p. 75–79, 2014.

WILBERT, D. G. B. et al. Análise da interface entre agregados reciclados de concreto e argamassas de concretos com cinza de casca de arroz e filer basáltico por nanoindentação. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 17, n. 2, p. 253–268, abr/jun 2017.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409
	R. Tranquílino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Entrega de TCC

<b>Assunto:</b>	Entrega de TCC
<b>Assinado por:</b>	Vitoria Luna
<b>Tipo do Documento:</b>	Dissertação
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Vitória Semíramys Ramos Luna Laurentino, DISCENTE (202121220006) DE TECNOLOGIA EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS - CAMPINA GRANDE**, em 28/08/2025 21:30:37.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/08/2025. 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: 1589923

Código de Autenticação: 6e3df33e1c

