



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**VANÊSSA ARAÚJO DE SOUSA**

**ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL  
E O CONCRETO SUPERFLUIDO NO SISTEMA PAREDE DE CONCRETO**

**FORTALEZA**

**2023**

VANÊSSA ARAÚJO DE SOUSA

ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E  
O CONCRETO SUPERFLUIDO NO SISTEMA PAREDE DE CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado ao curso de Engenharia Civil  
do Centro Universitário Christus, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Rafaela Fujita  
Lima.

FORTALEZA

2023

VANÊSSA ARAÚJO DE SOUSA

ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL E  
O CONCRETO SUPERFLUIDO NO SISTEMA PAREDE DE CONCRETO

TCC apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Rafaela Fujita Lima.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Ma. Rafaela Fujita Lima  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof. Me. Ricardo Araújo  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

---

Prof. Me. Erivano Lucio Passos  
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Centro Universitário Christus - Unichristus  
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do  
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S725e Sousa, Vanêssa.  
Estudo comparativo da aplicação do concreto autoadensável e o concreto superfluido no sistema parede de concreto / Vanêssa Sousa. - 2023.  
112 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Rafaela Fujita Lima.

1. Parede de Concreto. 2. Concreto Autoadensável. 3. Concreto Superfluido. 4. Durabilidade. 5. Ultrassom. I. Título.

CDD 624

A Deus, aos meus pais e ao meu esposo,  
que são tudo em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meus pais, Raimundo e Francineide, pelo amor, incentivo e apoio incondicional durante todos esses anos, para que eu chegasse até este momento único.

Ao meu esposo Elder, pelo seu amor, paciência, companheirismo e parceria, sempre me apoiando, torcendo e me ajudando para que eu alcance meus objetivos.

À minha orientadora, professora Rafaela Fujita, que me acolheu como uma mãe para eu ser sua orientanda, dando suporte, me incentivando, me ensinando com muita paciência, além de permitir que eu pudesse vivenciar oportunidades no ramo da Engenharia Civil.

À minha amiga e professora Mariana Leite, pela sua ajuda, incentivo e torcida.

À minha amiga Hemilly, que está ao meu lado desde o início da minha vida acadêmica, e sempre me motiva.

Ao meu amigo Solon, que me deu apoio, me motivou e compreendeu esse momento na minha vida acadêmica.

E a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento deste trabalho, enriquecendo o meu processo de aprendizado. Meu muito obrigada.

## RESUMO

A crescente demanda de habitações populares através da criação de programas federais resultou no aquecimento do setor da construção civil. A industrialização da construção civil destaca-se com técnicas, como o Sistema Parede de Concreto, que visam acelerar o processo de produção de habitações. Dessa forma, é imprescindível a escolha de um concreto que possa oferecer durabilidade das estruturas, além de ótima qualidade. Nesse contexto, a NBR 16055:2022, a qual contempla os requisitos e procedimentos de paredes de concreto moldadas no local, recomenda o uso de concreto autoadensável nesse tipo de obra. Entretanto, ainda existem construtoras que além de utilizar o concreto autoadensável em obras *in loco*, utiliza o concreto superfluido, o qual não é regido por normas técnicas. Nessa perspectiva, o presente trabalho busca analisar a aplicação do concreto autoadensável (CAA) e do concreto superfluido (CSF) no sistema parede de concreto em prédios residenciais. Para isso, foram realizadas visitas à obra, com o objetivo de acompanhar a validação dos traços de CAA e CSF, acompanhar a execução do concreto na obra. Além disso, foi realizada análise visual das paredes de concreto para verificar a qualidade do acabamento superficial. Para verificar a qualidade dos concretos CAA e CSF, foi realizado ensaios de ultrassom nas paredes de concreto, a fim de analisar a estrutura interna da parede. As paredes de concreto autoadensável apresentaram bons resultados tanto em relação ao acabamento superficial, quanto à qualidade do concreto em relação ao ensaio de ultrassom, alcançando uma qualidade excelente. Entretanto, os resultados das paredes de concreto superfluido atingiram resultados inferiores no acabamento superficial e na qualidade do concreto quanto ao número de vazios da estrutura interna. Sendo assim, o presente trabalho apresentou resultados satisfatórios que possam indicar o concreto autoadensável para ser utilizado no Sistema Parede de Concreto.

**Palavras-chave:** Parede de Concreto. Concreto Autoadensável. Concreto Superfluido. Durabilidade. Ultrassom.

## ABSTRACT

The growing demand for affordable housing through the creation of federal programs resulted in a boom in the construction sector. The industrialization of civil construction stands out with techniques, such as the Concrete Wall System, which aim to accelerate the housing production process. Therefore, it is essential to choose a concrete that can offer durability to the structures, in addition to excellent quality. In this context, NBR 16055:2022, which covers the requirements and procedures for cast-in-place concrete walls, recommends the use of self-compacting concrete in this type of work. However, there are still construction companies that, in addition to using self-compacting concrete in on-site construction, use superfluid concrete, which is not governed by technical standards. From this perspective, the present work seeks to analyze the application of self-compacting concrete (SCC) and superfluid concrete (CSF) in the concrete wall system in residential buildings. To this end, visits were carried out to the site, with the aim of monitoring the validation of the CAA and CSF traces, monitoring the execution of the concrete at the site. Furthermore, a visual analysis of the concrete walls was carried out to check the quality of the surface finish. To check the quality of the CAA and CSF concretes, ultrasound tests were carried out on the concrete walls, in order to analyze the internal structure of the wall. The self-compacting concrete walls showed good results both in terms of surface finish and the quality of the concrete in relation to the number of voids, achieving excellent quality. However, the results of the superfluid concrete walls achieved inferior results in terms of surface finish and concrete quality in terms of the number of voids in the internal structure. Therefore, this work presented satisfactory results that may indicate self-compacting concrete as more suitable for use in the Concrete Walls System.

**Keywords:** Concrete Wall. Self-Compacting Concrete. Superfluid Concrete. Durability. Ultrasound.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Processo construtivo da laje/piso construído com dimensões excedidas. .                              | 28 |
| Figura 2 - Fundação do tipo sapata corrida.....   | 29 |
| Figura 3 - Fundação do tipo radier .....  | 29 |
| Figura 4 - Fôrmas metálicas.....  | 31 |
| Figura 5 - Fôrmas metálicas com madeira compensada.....   | 31 |
| Figura 6 - Fôrmas plásticas .....   | 32 |
| Figura 7 - Materiais utilizados para a dosagem do CAA e sua influência.....                                     | 36 |
| Figura 8 - Aparelhagem e marcações do Slump-flow.....   | 38 |
| Figura 9 - Slump-flow test realizado em um concreto pouco fluido, antes de adicionar o superplastificante. .... | 38 |
| Figura 10 - Slump-flow test realizado em um concreto autoadensável. ....  | 39 |
| Figura 11 – Classes do índice de estabilidade visual (IEV).....   | 40 |
| Figura 12 - Comporta do funil V .....   | 41 |
| Figura 13 - Funil V.....  | 42 |
| Figura 14 - Anel J.....   | 44 |
| Figura 15 - Teste anel J realizado em concreto autoadensável. ....  | 44 |
| Figura 16 - Caixa L - Perspectiva .....   | 46 |
| Figura 17 – Ensaio na Caixa L .....   | 47 |
| Figura 18 – Indicação das alturas H1 e H .....  | 47 |
| Figura 19 - Caixa U - Perspectiva (dimensões em centímetros) .....  | 48 |
| Figura 20 - Ensaio caixa U em andamento .....   | 49 |
| Figura 21 - Coluna de segregação (dimensões em milímetros).....   | 50 |
| Figura 22 - Desenho esquemático da retirada as porções de concreto da coluna de segregação.....                 | 51 |
| Figura 23 - Execução da retirada da porção de concreto da coluna de segregação.                                 | 51 |
| Figura 24 - Configuração do recipiente após o enchimento de concreto .....                                      | 52 |
| Figura 25 - Execução do método da peneira para a determinação da resistência à segregação do CAA .....          | 53 |
| Figura 26 - Localização da Obra A, no Centro de Caucaia - Ceará. ....   | 60 |
| Figura 27 – Bloco 1 da Obra A, construído no sistema parede de concreto. ....                                   | 61 |
| Figura 28 - Representação do projeto da obra A .....  | 62 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 29 - Aparelhos de ensaio de caracterização do concreto (1º dia). .....   | 66 |
| Figura 30 - Realização de ensaio de caracterização (anel J) antes do lançamento do concreto (1º dia). .....                           | 67 |
| Figura 31 - Realização de ensaio de caracterização (caixa L), antes do lançamento do concreto (1º dia). .....                         | 67 |
| Figura 32 – Realização de ensaio de caracterização antes do lançamento do concreto (2º dia).....                                      | 68 |
| Figura 33 - Lançamento do concreto nas fôrmas das paredes .....   | 69 |
| Figura 34 - Ultrassom Pundit, utilizado no ensaio. ....   | 70 |
| Figura 35 – Transdutores de 54 kHz, do ultrassom Pundit, utilizados no ensaio. ....   | 70 |
| Figura 36 – Realização da calibração do aparelho de ultrassom.....  | 71 |
| Figura 37 – Pontos na parede de concreto, utilizados para o ensaio.....   | 72 |
| Figura 38 - Transmissão indireta.....   | 73 |
| Figura 39 – Realização do ensaio de ultrassom por transmissão indireta, na parede de concreto.....                                    | 73 |
| Figura 40 - Agregado utilizado pela usina A.....  | 75 |
| Figura 41 - Área ensaiada; pavimento térreo, bloco H, parede P1 – concreto superfluido.....   | 77 |
| Figura 42 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P1 – concreto superfluido. ....                            | 78 |
| Figura 43 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P2 – concreto superfluido .....                            | 78 |
| Figura 44 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P3 – concreto autoadensável .....                          | 79 |
| Figura 45 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P4 – concreto autoadensável .....                          | 80 |
| Figura 46 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P5 – concreto autoadensável. ....                          | 81 |
| Figura 47 - Região delimitada e respectivo mapa gerado, ambos da parede P5 – concreto autoadensável.5. ....                           | 82 |
| Figura 48 – Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P6 – concreto autoadensável. ....                          | 83 |
| Figura 49 e 50 Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico nas paredes P7 e P8, respectivamente – concreto superfluido. .... | 84 |
| Figura 51 - Mapas das paredes de concreto superfluido .....   | 85 |
| Figura 52 - Mapas das paredes de concreto autoadensável.....  | 85 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 53 - Registro fotográfico da parede P1 – concreto superfluido – Usina A.....  | 87 |
| Figura 54 - Registro fotográfico da parede P2 - concreto superfluido – Usina A.....  | 88 |
| Figura 55 - Registro fotográfico da parede P3 – concreto autoadensável – Usina A.  | 89 |
| Figura 56 – Registro fotográfico da parede P5 – concreto autoadensável – Usina A .....   | 89 |
| Figura 57- Registro fotográfico da parede P6 – concreto autoadensável – Usina A.   | 90 |
| Figura 58 - Registro fotográfico da parede P7 – concreto superfluido – Usina A.....  | 91 |
| Figura 59 – Registro fotográfico da parede P8 – concreto superfluido – Usina A. ....   | 91 |
| Figura 60 - Registro fotográfico da parede de concreto autoadensável – Usina B....   | 92 |
| Figura 61 - Registro fotográfico da parede de concreto autoadensável – Usina B....   | 93 |
| Figura 62 - Registro fotográfico da parede de concreto autoadensável – Usina B....   | 93 |
| Figura 63 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido – Usina B .....   | 94 |
| Figura 64 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com nicho de concretagem – Usina B .....                    | 95 |
| Figura 65 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com nicho de concretagem – Usina B .....                    | 95 |
| Figura 66 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com nicho de concretagem expondo a armadura – Usina B ..... | 96 |
| Figura 67 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com falhas na concretagem – Usina B .....                   | 96 |
| Figura 68 - Registro fotográfico das paredes de concreto autoadensável e superfluido – Usina B.....                            | 97 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 - Evolução da aplicação do sistema construtivo parede de concreto em uma construtora.....   | 22 |
| Gráfico 2 - Avaliação de sistemas de fachadas para habitações de interesse social (HIS) no Brasil, em relação ao consumo de energia.....          | 24 |
| Gráfico 3 - Avaliação de sistemas de fachadas para habitações de interesse social (HIS) no Brasil, em relação à emissões de CO <sub>2</sub> ..... | 25 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação.....                                     | 34 |
| Tabela 2 – Classes de viscosidade plástica aparente t500 ( sob fluxo livre).....                              | 35 |
| Tabela 3 – Classes do índice de estabilidade visual (IEV).....  | 36 |
| Tabela 4 – Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação.....                    | 38 |
| Tabela 5 – Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação.....                    | 45 |
| Tabela 6– Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação.....                     | 50 |
| Tabela 7 – Classes de consistência para o concreto de consistência normal.....                                | 51 |
| Tabela 8 – Traço empregado – Usina A.....   | 61 |
| Tabela 9 – Traço empregado – Usina B.....   | 62 |
| Tabela 10 - Localização das paredes de concreto – Usina A.....  | 68 |
| Tabela 11- Resultados das classes de resistência à segregação do concreto da usina A.....                     | 71 |
| Tabela 12 - Classificação da qualidade do concreto com base na velocidade do pulsoultrassônico.....           | 72 |
| Tabela 13 - Parâmetro de cores para diferenciar as zonas de qualidade.....                                    | 73 |
| Tabela 14 – Velocidades de pulso ultrassônico para concretos autoadensável e superfluido.....                 | 83 |
| Tabela 15 - Valores obtidos nos ensaios realizados por Holanda (2022) e presente estudo.....                  | 95 |
| Tabela 16 - Valores obtidos nos ensaios realizados por Holanda (2022) e presente estudo.....                  | 98 |
| Tabela 17 – Valores obtidos nos ensaios realizados por Holanda (2022), Ferreira (2019) e presente estudo..... | 99 |

## SUMÁRIO

|            |  |    |
|------------|--|----|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | 16 |
| <b>1.1</b> | <b>Justificativa do trabalho</b> .....                               | 17 |
| <b>1.2</b> | <b>Objetivos</b> .....   | 19 |
| 1.2.1      | <i>Objetivo geral</i> .....  | 19 |
| 1.2.2      | <i>Objetivos específicos</i> .....                                   | 19 |
| <b>1.3</b> | <b>Estrutura do Trabalho</b> .....                                   | 19 |
| <b>2</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....                                     | 21 |
| <b>2.1</b> | <b>Sistema Parede de Concreto</b> .....                              | 21 |
| 2.1.1      | <i>Aplicações do sistema parede de concreto</i> .....                | 23 |
| 2.1.2      | <i>Vantagens do sistema parede de concreto</i> .....                 | 24 |
| 2.1.3      | <i>Desvantagens do sistema parede de concreto</i> .....              | 26 |
| 2.1.4      | <i>Procedimentos executivos</i> .....                                | 27 |
| 2.1.4.1    | <i>Fundações</i> .....   | 28 |
| 2.1.5      | <i>Fôrmas</i> .....  | 30 |
| 2.1.6      | <i>Controle da qualidade</i> .....                                   | 32 |
| <b>2.2</b> | <b>Concreto autoadensável</b> .....                                  | 34 |
| 2.2.1      | <i>Materiais componentes</i> .....                                   | 35 |
| 2.2.2      | <i>Caracterização do CAA</i> .....                                   | 37 |
| 2.2.2.1    | <i>Determinação do espalhamento e tempo de escoamento</i> .....      | 37 |
| 2.2.2.2    | <i>Determinação da viscosidade plástica aparente</i> .....           | 41 |
| 2.2.2.3    | <i>Determinação da habilidade passante</i> .....                     | 43 |
| 2.2.2.4    | <i>Determinação da resistência à segregação</i> .....                | 50 |
| <b>2.3</b> | <b>Concreto Superfluido</b> .....                                    | 54 |
| <b>2.4</b> | <b>Manifestações patológicas no sistema parede de concreto</b> ..... | 55 |
| 2.4.1      | <i>Fissuras</i> .....  | 56 |
| 2.4.2      | <i>Vazios e nichos de concretagem</i> .....                          | 57 |
| 2.4.3      | <i>Juntas frias de concretagem</i> .....                             | 57 |
| <b>2.5</b> | <b>Estudos Pertinentes</b> .....                                     | 58 |
| 2.5.1      | <i>Holanda (2022)</i> .....  | 58 |
| 2.5.2      | <i>Ferreira (2019)</i> .....   | 58 |
| <b>3</b>   | <b>METODOLOGIA</b> .....   | 60 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| <b>3.1</b> | <b>Ambiente da pesquisa</b> .....   | 60  |
| <b>3.2</b> | <b>Natureza da pesquisa</b> .....   | 62  |
| <b>3.3</b> | <b>Tipologia da pesquisa</b> .....  | 63  |
| <b>3.4</b> | <b>Coleta e análise de dados</b> .....  | 64  |
| <b>3.5</b> | <b>Método</b> .....   | 65  |
| 3.4.1      | <i>Traço do Concreto</i> .....  | 65  |
| 3.4.2      | <i>Acompanhamento do lançamento do concreto nas fôrmas</i> .....                                      | 66  |
| 3.4.3      | <i>Ensaio de ultrassom</i> .....  | 69  |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....  | 74  |
| <b>4.1</b> | <b>Avaliação da caracterização do concreto</b> .....  | 74  |
| <b>4.2</b> | <b>Avaliação da qualidade do concreto através dos dados da velocidade do pulso ultrassônico</b> ..... | 75  |
| <b>4.3</b> | <b>Programa Surfer para ensaio de ultrassom</b> .....   | 76  |
| <b>4.4</b> | <b>Análise comparativa dos mapas das paredes de concreto autoadensável e superfluido</b> .....        | 84  |
| <b>4.5</b> | <b>Análise visual das paredes de concreto CAA e CSF</b> .....   | 87  |
| <b>4.6</b> | <b>Análise comparativa com trabalhos da área</b> .....  | 98  |
| 4.6.1      | <i>Análise comparativa entre Holanda (2022) e presente estudo</i> .....                               | 98  |
| 4.6.2      | <i>Análise comparativa entre Ferreira (2019) e presente estudo</i> .....                              | 99  |
| <b>4.7</b> | <b>Análise de Resultados e Discussões</b> .....   | 100 |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | 103 |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 105 |
|            | <b>APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA, APLICADO EM CONSTRUTORA LOCALIZADA EM CAUCAIA-CEARÁ</b> .....  | 111 |

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, milhares de famílias não têm acesso à moradia ou vivem em condições precárias, ocasionando um *déficit* habitacional no país. Segundo Firjan (2022), estima-se que seria necessária a construção de cerca de 1,18 milhão de unidades habitacionais por ano, em todo o país, para suprir o *déficit* habitacional em dez anos. Dessa maneira, a Construção Civil pode ser um mecanismo para promover o desenvolvimento econômico e social, bem como ampliar a qualidade de vida da população.

Desde os anos 1960 havia a necessidade de implementar um *conjunto* diversificado de programas de governo para o enfrentamento do *déficit* habitacional (BONDUKI, 2022), tais como a Companhia de Habitação Popular - COHAB, a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano - CDHU, e o Minha Casa, Minha Vida - MCMV. Desde 2009, com abrangência nacional, o programa Minha Casa, Minha Vida já beneficiou milhares de famílias e estima, até 2026, entregar 2 milhões de habitações para a população brasileira, priorizando as famílias de baixa renda (BRASIL, 2023).

Para garantir o atendimento a essa demanda, o governo necessita executar as obras dentro do prazo e ao mesmo tempo garantir a qualidade das estruturas, a fim de entregar moradias seguras e, ao mesmo tempo, confortáveis às pessoas beneficiadas. Dessa forma, surge a necessidade de investir na qualidade da construção, visando melhorias nos processos construtivos.

O crescimento das tecnologias na indústria da construção resulta na precisão de melhorias constantes, tornando o concreto um material tanto de maiores investimentos, como de objeto de estudo em pesquisas aprofundadas, objetivando obter resultados mais seguros, econômicos e eficientes (RODRIGUES NETO, 2022).

A tecnologia paredes de concreto surgiu no Brasil na década de 1970, entretanto, ao longo dos anos 2000 esse sistema tornou-se importante, especialmente como solução capaz de auxiliar o país na redução do *déficit* habitacional (SIENGE, 2019). De acordo com a ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2013), as construtoras vêm optando pela implantação do sistema parede de concreto, cada vez mais, pois buscam agilidade no processo construtivo para o programa Minha

Casa, Minha Vida, e devido à intensa demanda do programa, esse sistema vem ganhando grande relevância (SIENGE, 2019).

A alta demanda de construção acompanhada pelo tempo reduzido, faz com que as construtoras implantem o sistema parede de concreto, o qual é recomendável para empreendimentos que têm alta repetitividade, como condomínios e edifícios residenciais (ABCP, 2013). Para isso, utilizam-se fôrmas manoportáveis, que permitem a execução de duas a quatro unidades habitacionais por dia (WENDLER; MONGE, 2018).

Além da grande velocidade de execução, por causa da parede de concreto moldada *in loco*, o sistema parede de concreto proporciona vantagens na qualidade da obra, devido à realização do controle tecnológico desde a produção de insumos até sua aplicação, bem como o uso de materiais normatizados

### **1.1 Justificativa do trabalho**

Devido à necessidade de redução do *déficit* habitacional e ao crescimento do programa Minha Casa, Minha Vida, seguido pelo programa Casa Verde Amarela, nos últimos anos, o sistema construtivo vem se tornando industrializado. De acordo com Lima e Costa (2018), a construção em grande escala de unidades habitacionais em parede de concreto tem sido um marco de ruptura nos padrões tecnológicos e de mercado para o setor de construção no Brasil.

A retomada do programa Minha Casa, Minha Vida, em 2023, visam aquecer o setor da Construção Civil e o mercado imobiliário, e a demanda do sistema parede de concreto para essas obras tendem a crescer. Apesar de ter ganhado notoriedade devido ao programa MCMV, o método parede de concreto também pode ser empregado em grandes edifícios, confirmando sua versatilidade, como por exemplo 194 apartamentos distribuídos em duas torres de 24 andares (WENDLER; MONGE, 2018).

O sistema parede de concreto se destaca por ter uma velocidade construtiva rápida em relação aos outros tipos de construção. De acordo com Souza e Ripper (2009), para a garantia de redução de custos e prazos em uma obra, é obrigatório que tenha um atualizado e adequado sistema de controle da qualidade.

A qualidade da obra de um sistema parede de concreto está diretamente ligada a um planejamento preciso e à uma boa execução. Dessa forma, uma das grandes preocupações do sistema é a possibilidade de aparecimento de patologias, em especial a fissuração do concreto (WENDLER; MONGE, 2018).

Em uma pesquisa realizada por Macedo *et al.* (2018), o sistema construtivo de paredes de concreto apresentou como principal vantagem a sua produtividade, entretanto foram observadas várias falhas construtivas provenientes da execução, bem como no recebimento e lançamento do concreto, causando interferências na qualidade e na durabilidade da construção. Segundo Alves (2022), dentre as manifestações patológicas que ocorrem em paredes de concreto, 42% resultam do concreto.

Estudos realizados pela Associação Brasileira de Cimento Portland apontam que o concreto adotado no sistema parede de concreto deve ter uma boa trabalhabilidade, sendo fundamental para o preenchimento completo das fôrmas sem segregações, bem como para o bom acabamento da superfície (ABCP, 2013). Segundo a ABNT (2022), a NBR 16055 recomenda o uso do concreto autoadensável de baixa retração, conforme a ABNT NBR 15823-1.

Desse modo, de acordo com ABCP (2013), o concreto autoadensável é o tipo mais utilizado para executar paredes de concreto, devido conter características essenciais para a aplicação no sistema parede de concreto. Da mesma forma, outro material vem sendo adotado para esse sistema, o qual é o concreto superfluido (IBRACON, 2021).

Diante do exposto, questiona-se: entre os concretos autoadensável e superfluido, qual seria o mais indicado para utilizar no sistema parede de concreto, de forma a garantir a durabilidade das estruturas?

## 1.2 Objetivos

De forma a explorar o questionamento apresentado para este estudo, foram definidos os seguintes objetivos:

### 1.2.1 *Objetivo geral*

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar a aplicação do concreto autoadensável (CAA) e do concreto superfluido (CSF) no sistema parede de concreto em prédios residenciais.

### 1.2.2 *Objetivos específicos*

- a) Acompanhar a validação dos traços do CAA e do CSF;
- b) Acompanhar a execução do concreto na obra;
- c) Verificar visualmente a qualidade da estrutura após a execução;
- d) Verificar através do ensaio do ultrassom a qualidade do concreto CAA e do CSF.

## 1.3 Estrutura do Trabalho

Para desenvolver esse estudo, esse trabalho foi dividido em 5 seções, iniciando-se pela Seção 1, que corresponde ao conteúdo elementar da introdução, apresentando a justificativa e objetivos do presente trabalho.

A Seção 2, abrange o Referencial Teórico, onde foram descritas as definições e características do sistema parede de concreto, bem como as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, além de apresentar os concretos autoadensável e o superfluido, entre outros tópicos, abordando as patologias no sistema parede de concreto, bem como o controle tecnológico realizado nas obras desse tipo de sistema.

A Seção 3 aborda a Metodologia, onde foi desenvolvido todo o detalhamento do estudo, tal como as visitas às obras e a verificação da validação do concreto, execução da concretagem nas obras utilizando os concretos CAA e CSF e a realização do ensaio de ultrassom.

A Seção 4 trata-se dos Resultados e Análises, onde foram apresentados os resultados obtidos na validação do concreto autoadensável, no ensaio de ultrassom realizado nas paredes de concreto da Obra A, bem como suas análises.

Por fim, na Seção 5 são encontradas as conclusões do estudo, obtidas após análise, onde foram levados em consideração os resultados encontrados durante o desenvolvimento deste trabalho.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Esse tópico contempla os fundamentos teóricos dos assuntos abordados neste trabalho, com o intuito de apresentar a literatura sobre os materiais necessários para compor o concreto autoadensável e o concreto superfluido, as propriedades do concreto autoadensável e ensaios relativos, bem como o sistema de parede de concreto.

As propriedades mecânicas inerentes aos componentes do CAA e do CSF serão abordadas, além da durabilidade dos elementos estruturais, sustentabilidade ambiental e a implementação do CAA e do CSF no canteiro de obras que utilizam o sistema parede de concreto.

Com isso, será detalhada a aplicabilidade dos concretos autoadensáveis e superfluido nas obras no sistema parede de concreto, a fim de verificar a qualidade do concreto e a durabilidade das estruturas.

### **2.1 Sistema Parede de Concreto**

A construção em grande escala de unidades habitacionais em parede de concreto tem sido um marco de ruptura nos padrões tecnológicos e de mercado para o setor de construção do Brasil (LIMA; COSTA, 2018).

Parede de Concreto é um sistema construtivo racionalizado, que oferece as vantagens da produção em alta escala sem perda de qualidade - condições técnicas e econômicas perfeitas para a atual demanda do mercado brasileiro da construção (ABCP, 2013). A NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), intitulada como Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos, define parede de concreto como um elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que dez vezes sua espessura é capaz de suportar no mesmo plano da parede.

O sistema parede de concreto permite que todas as paredes de cada ciclo construtivo de uma edificação sejam moldadas em uma única etapa de concretagem, permitindo que, após a desforma, as paredes já contenham, em seu interior, vãos para portas e janelas, tubulações ou eletrodos de pequeno porte, elementos de fixação para coberturas e outros elementos específicos quando for o caso NBR 16055 (ABNT, 2022).

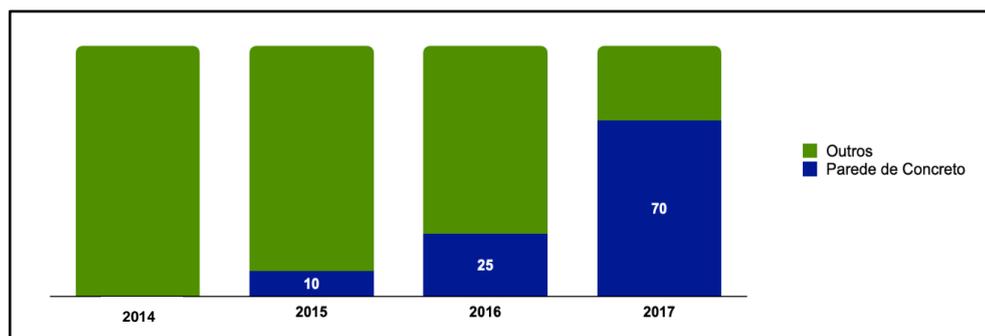
O sistema parede de concreto teve início na década de 70, sendo inspirado em experiências consagradas e bem-sucedidas de construção industrializada em concreto celular e em concreto convencional, além de várias obras com painéis de fôrmas deslizantes ou trepantes (ABCP, 2013).

A partir dos anos 2000, esse sistema tornou-se importante, especialmente, como solução capaz de auxiliar o país na redução do *déficit* habitacional (SIENGE, 2019), devido a intensa demanda criada pelo programa habitacional Minha Casa, Minha Vida (MCMV).

Nesse contexto, de acordo com Lima e Costa (2018); Moreira (2020) e a implantação do sistema parede de concreto vem crescendo consideravelmente, sendo utilizado por construtoras, principalmente no âmbito das Habitações de Interesse Social (HIS), devido ser um modelo de produção mais industrializado, com alta produtividade.

Segundo Lima e Costa (2018); Moreira (2020), em algumas empresas, a aplicação desse sistema construtivo está substituindo, quase que totalmente, a utilização de métodos tradicionais, como alvenaria estrutural. O Gráfico 1 apresenta a migração de uma empresa construtora para a utilização do sistema parede de concreto.

Gráfico 1 - Evolução da aplicação do sistema construtivo parede de concreto em uma construtora.



Fonte: Lima e Costa (2018).

### 2.1.1 Aplicações do sistema parede de concreto

De acordo com a ABCP (2008), o sistema parede de concreto pode ser aplicado em obras com as seguintes especificações:

- edifícios de até cinco pavimentos, estruturado por paredes de concreto;
- lajes de vão luz com dimensão máxima de 4 m e sobrecarga máxima de 300 kgf/m<sup>2</sup>;
- piso a piso máximo da construção igual a 3 m;
- dimensões em planta de, no mínimo, 8 m.

Embora esse sistema construtivo tenha um campo limitado, segundo Monge *et al* (2018), é possível aplicá-lo em empreendimentos de grande porte, tendo 198 apartamentos distribuídos em torres de 24 andares, por exemplo.

De acordo com a NBR 16055 (ABNT, 2022), foram estabelecidos requisitos básicos para o sistema construtivo de paredes de concreto, com qualquer número de pavimentos, aplicando-se às paredes submetidas à carga axial, com ou sem flexão, concretadas com todos os elementos que farão parte da construção final, como detalhes de fachada, armaduras distribuídas e localizadas, instalações elétricas e hidráulicas, quando embutidas em elementos estruturais solidarizados.

### 2.1.2 Vantagens do sistema parede de concreto

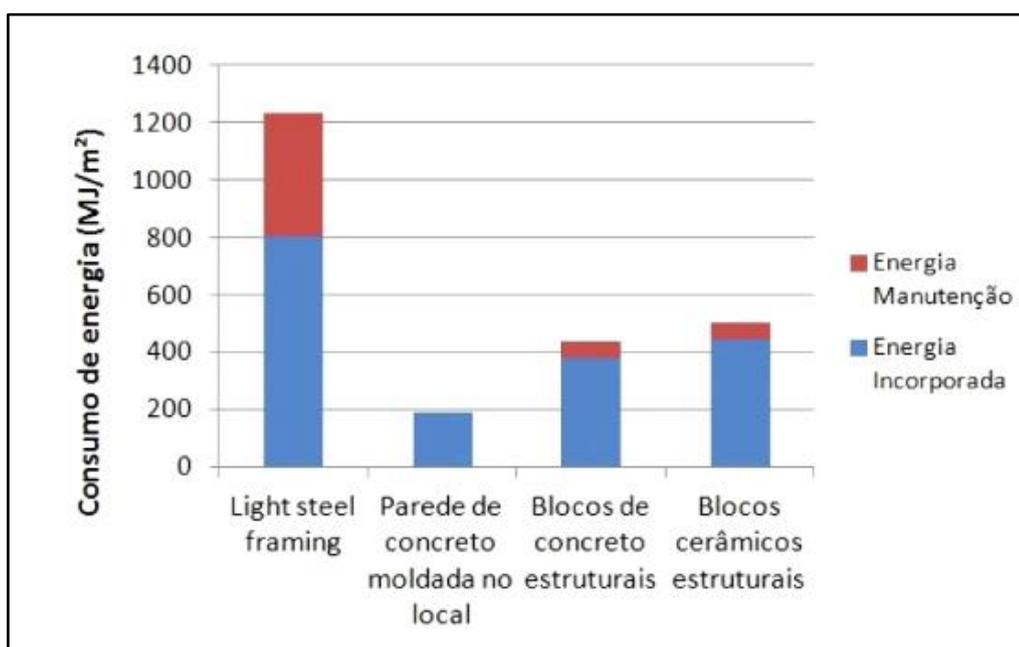
O sistema parede de concreto, de acordo com Cechinel (2019 apud Cruz *et al.*, 2022) proporciona benefícios em termos de rapidez na construção, devido a agilidade da montagem da malha de ferro, das fôrmas e das estruturas elétricas e hidráulicas; à redução do uso de mão de obra, reduzindo riscos de acidentes e custo na obra; à racionalização do uso de materiais de construção; a não necessidade de chapisco e reboco; à grande resistência ao fogo; e ao melhor isolamento térmico e acústico.

De acordo com Corrêa (2012), o sistema parede de concreto apresenta diversas vantagens, quando comparadas aos sistemas construtivos convencionais, tais como:

- ❖ Alta velocidade de produção;
- ❖ Maior industrialização do processo;
- ❖ Maior controle de qualidade, dado pela utilização de materiais com maior controle tecnológico;
- ❖ Baixa geração de resíduos;
- ❖ Econômico para empreendimentos de alta repetitividade, como condomínios e edifícios residenciais;
- ❖ Maior uniformidade.

Segundo Caldas *et al.* (2016, *apud* Núcleo Parede de Concreto, 2023), estudos apontam que a redução de geração de resíduos e vantagens no ciclo de vida energético e de emissões de CO<sub>2</sub> favorecem o desempenho ambiental do sistema construtivo de parede de concreto quando comparado a outras tecnologias. No Gráfico 2, pode ser constatado que o sistema parede de concreto apresentou menor consumo de energia, 189,4MJ/m<sup>2</sup>, em relação aos outros sistemas de fachada para habitações sociais.

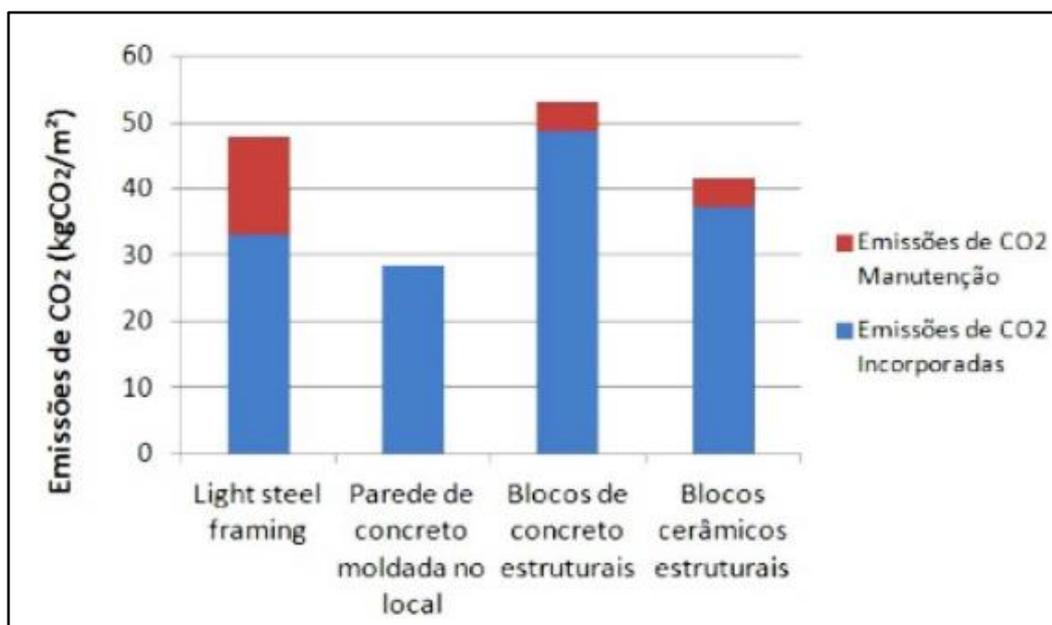
Gráfico 2 - Avaliação de sistemas de fachadas para habitações de interesse social (HIS) no Brasil, em relação ao consumo de energia.



Fonte: Caldas *et al.* (2016, *apud* Núcleo Parede de Concreto, 2023).

No caso das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pesquisas realizadas pela Universidade Federal de Brasília e do Royal Institute of Technology, utilizando a metodologia “Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões de CO<sub>2</sub>” nas etapas de extração, processamento e manutenção dos sistemas, o sistema parede de concreto apresentou melhor resultado, com 28,6 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, conforme o Gráfico 3 (NÚCLEO PAREDE DE CONCRETO, 2023).

Gráfico 3 - Avaliação de sistemas de fachadas para habitações de interesse social (HIS) no Brasil, em relação à emissões de CO<sub>2</sub>.



Fonte: Núcleo Parede de Concreto (2023, apud Caldas *et al.* 2016).

Em relação à durabilidade, o sistema parede de concreto apresenta um ponto positivo por compor os sistemas à base de cimento, que além de normatizados, são projetados para uma vida útil de, no mínimo, 30 anos, que se estendem facilmente para 50 anos, ou mais, de uso ininterrupto em condições satisfatórias, sem manutenções de grande custo. (NÚCLEO PAREDE DE CONCRETO, 2023).

### 2.1.3 Desvantagens do sistema parede de concreto

Apesar do sistema parede de concreto apresentar vantagens inovadoras, Corrêa (2012) aponta algumas desvantagens, como por exemplo:

- ❖ Baixa flexibilidade arquitetônica;

- ❖ Paredes não removíveis;
- ❖ Necessidade de mão de obra qualificada;
- ❖ Dificuldade de manutenção nas instalações hidráulicas e elétricas (embutidas na parede);
- ❖ Antieconômica para empreendimentos de baixa repetitividade ou de grande complexidade arquitetônica;
- ❖ Mais suscetível à retração do que as estruturas convencionais.

Segundo Shutterstock (2013, apud CRUZ *et al.*, 2021), uma das desvantagens da utilização do sistema parede de concreto é o alto custo das fôrmas, uma vez que não conseguem ser reutilizadas, devido cada projeto ser diferente do outro.

#### 2.1.4 Procedimentos executivos

O processo construtivo deste sistema é feito na seguinte ordem: marcação e execução da fundação, montagem da armadura, fixação das instalações prediais, montagem das fôrmas e escoramentos, concretagem, desforma e cura (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Além desses processos, também é importante ter atenção ao concreto a ser utilizado, o qual deve ter a capacidade de se auto nivelar sem influência externa, como por exemplo o concreto autoadensável (CAA).

Os requisitos gerais para a execução das paredes de concreto da NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022), determinam:

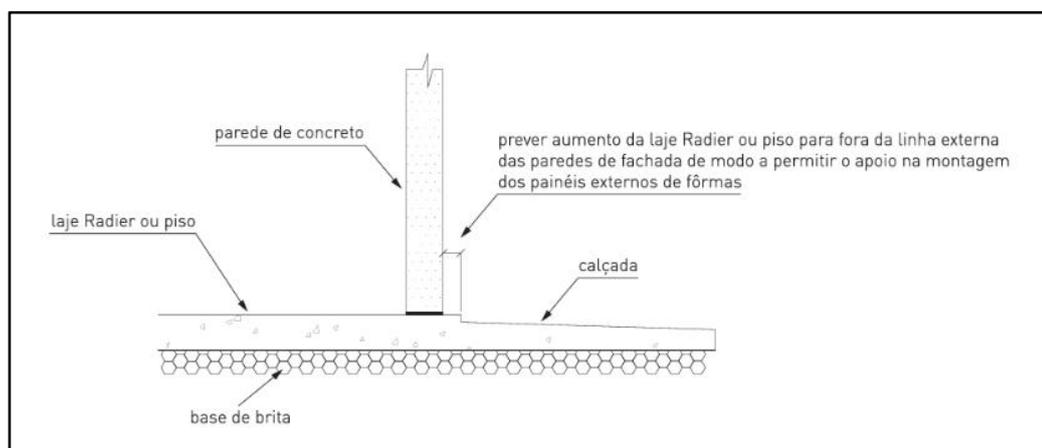
Os projetos devem ser compatibilizados sob responsabilidade da construtora. A compatibilização pode incluir, mas não se limitar aos projetos de fôrmas, de escoramento, de embutidos e vazados, de instalações elétricas, de alarme e comunicação, de instalações hidrossanitárias, de prevenção e combate a incêndio e pânico, estrutural e demais que se fizerem necessários. caso seja detectada interferência com a estrutura, o projetista deve ser consultado para tomar as providências.

### 2.1.4.1 Fundações

A escolha do tipo de fundação depende das condições locais, do empreendimento, especialmente da resistência mecânica do solo. A seleção do tipo de fundação deve contemplar os aspectos de segurança, estabilidade e durabilidade da fundação e a questão do alinhamento e nivelamento necessários para a produção das paredes, os quais são parâmetros específicos do sistema construtivo (ABCP, 2008).

Segundo ABCP (2008), a fundação deve ser executada com um nivelamento rigoroso, para que não haja falhas a montagem do sistema de fôrmas e recomenda que seja executada uma laje/piso na cota do terreno, para que constitua um apoio ao sistema de fôrmas e elimine a possibilidade de se trabalhar no terreno bruto. Para o autor, a laje/piso deve ser construída excedendo a dimensão igual à espessura dos painéis externos das fôrmas, a fim de permitir o apoio e facilitar a montagem dos moldes, como mostra a Figura 1. Em fundações com laje tipo radier, é recomendado que na mesma concretagem seja construída a calçada externa.

Figura 1- Processo construtivo da laje/piso construído com dimensões excedidas.



Fonte: ABCP, 2008.

De acordo com ABCP (2008) e Sgobbi e Miranda (2021), não há restrições quanto ao tipo de fundação a ser utilizada pelo sistema parede de concreto. Podem ser empregados os sistemas de fundações em sapata corrida (Figura 2), radier (Figura 3) e blocos de travamento para estacas ou tubulões. A escolha varia de acordo com os dados obtidos pela topografia do terreno, de acordo com suas especificações.

Figura 2 - Fundação do tipo sapata corrida



Fonte: ABCP (2008)

Figura 3 - Fundação do tipo radier



Fonte: Autora (2023).

Ainda nesta etapa, segundo a ABCP (2008), devem ser observados alguns cuidados, tais como:

- ❖ A locação e o nivelamento das fundações devem estar de acordo com os projetos arquitetônico e de fôrmas;
- ❖ Para a fundação direta, devemos tomar todas as precauções para evitar que a umidade (água) existente ao nível do solo migre para dentro da edificação ou das paredes;
- ❖ Recomenda-se a realização da cura úmida do concreto por um período mínimo de 7 dias para as fundações em laje tipo radier;
- ❖ A concretagem das fundações tipo radier (ou de pisos) é feita de forma convencional, diretamente do caminhão betoneira, sobre uma lona plástica que cobre uma camada nivelada de brita 1 com espessura mínima de 3 cm.

### 2.1.5 Fôrmas

As fôrmas são estruturas provisórias, com o objetivo de moldar o concreto fresco. Estes componentes devem resistir a todas as pressões do lançamento do concreto até que este adquira resistência suficiente para a desforma. Exige-se das fôrmas que sejam estanques e mantenham rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas (ABCP, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2008), os principais tipos de fôrmas utilizados para sistema parede de concreto são:

- ❖ Fôrmas metálicas: fôrmas que utilizam quadros e chapas metálicas tanto para estruturação de seus painéis, como para dar acabamento à peça concretada (Figura 4).

Figura 4 - Fôrmas metálicas



Fonte: Autora (2024).

- ❖ Fôrmas metálicas com madeira compensada: São compostas por quadros em peças metálicas (aço ou alumínio) e utilizam chapas de madeira compensada ou material sintético para dar o acabamento na peça concretada (Figura 5).

Figura 5 - Fôrmas metálicas com madeira compensada



Fonte: ABCP (2008).

- ❖ **Fôrmas Plásticas:** Utilizam quadros e chapas feitas em plástico reciclável, tanto para estruturação de seus painéis, como para dar acabamento à peça concretada, sendo contraventadas por estruturas metálicas (Figura 6)

Figura 6 - Fôrmas plásticas



Fonte: ABCP (2008).

### *2.1.6 Controle da qualidade*

O controle exercido durante todo o processo executivo, do projeto à entrega da obra, é o atributo mais visível do sistema, e o grande responsável pelos ganhos de qualidade final, produtividade e prazo de realização (ABCP, 2008).

A execução das etapas construtivas neste método industrializado e de repetição exige um controle rígido de conferência de serviços e de liberação das etapas, uma vez que em caso de retrabalho a atividade será complexa e os custos serão muito altos (ABCP, 2013).

A qualidade de execução das paredes de concreto dependerá de outros fatores além da mão de obra, tais como as fôrmas e as propriedades do concreto. Desse modo, a qualidade de execução das paredes de concreto irá interferir nos custos e nos prazos de execução de maneira muito mais intensa que uma parede

reticular, por exemplo, além de determinar a qualidade e a velocidade das etapas de acabamento das paredes (MITIDIERI FILHO *et al.*, 2013).

Para a ABCP (2013), a construção com paredes de concreto moldadas *in loco* requer atenção especial às fôrmas utilizadas nas paredes e lajes, que, independentemente do material utilizado, requerem cuidados específicos para garantir a sua disponibilidade conforme o planejamento realizado. Pode-se destacar alguns pontos, como atividades de limpeza; definição de processos para o controle de acessórios durante a montagem e desmontagem das fôrmas; e preparação da forma a cada uso, tal como a aplicação de desmoldantes. Neste último caso, os produtos recomendados devem estar explícitos e ser coerentes com o material da fôrma e o tipo do concreto

Segundo a ABCP (2013), são utilizadas microfibras no concreto, principalmente para evitar fissuras nas paredes. A NBR 16055 recomenda o uso de microfibras poliméricas e álcali-resistente para controlar a retração plástica. Dessa forma, as microfibras devem ter comprimento entre 12 mm e 20 mm, diâmetro entre 12  $\mu\text{m}$  e 18  $\mu\text{m}$ , comprimento mínimo total de 2.500 km/m<sup>3</sup> (ABNT, 2022).

Segundo ABNT (2022), a NBR 16055 recomenda a utilização de concreto autoadensável de baixa retração no sistema parede de concreto. Para a caracterização do concreto antes do início de seu uso na obra, o projeto estrutural deve especificar:

- a) idade e resistência à compressão para desforma, compatível com o ciclo de concretagem;
- b) resistência à compressão característica aos 28 dias ( $f_{ck}$ );
- c) classe de agressividade do local de implantação da estrutura;
- d) módulo de elasticidade do concreto, a uma determinada idade e tensão;
- e) retração do concreto.

Além das especificações citadas, a NBR 16055 determina que o tecnologista de concreto deve estabelecer os seguintes dados:

- a) relação água-cimento;
- b) consumo mínimo de cimento;

- c) consistência, medida pelo abatimento do tronco cone ou pelo espalhamento do concreto;
- d) índice de estabilidade visual.

Da mesma forma, o concreto CAA é caracterizado a partir de ensaios que para determinar as seguintes propriedades: a viscosidade plástica aparente; a habilidade passante; e a resistência à segregação, os quais são requisitados pela NBR 15823 (ABNT, 2017).

## **2.2 Concreto autoadensável**

Segundo ABNT (2017), a NBR 15823-1 define o concreto autoadensável (CAA) como o concreto capaz de fluir, auto adensar pelo seu peso próprio, preencher a fôrma e passar por embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento.

De acordo com Tutikian (2008), para o concreto ser considerado autoadensável, é necessário que três propriedades sejam alcançadas simultaneamente: fluidez, coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço (habilidade passante) e resistência à segregação. De acordo com a NBR 15823-1 (ABNT, 2017), é necessário alcançar quatro propriedades, tais como: fluidez e escoamento; viscosidade plástica aparente; habilidade passante; e resistência à segregação.

As aplicações do concreto de autoadensável ocorrem em diversos tipos de obras, como paredes, vigas e colunas, estações de tratamento de água e esgoto, lajes de pequena espessura, pisos, contrapisos e painéis, muros, reservatórios de água e piscina (LISBOA, *et al.*, 2017).

Para Tutikian e Dal Molin (2008), o CAA pode ser utilizado tanto moldado *in loco*, como na indústria de pré-fabricados, bem como pode ser dosado no canteiro de obras ou em centrais de concreto e depois transportado via caminhão betoneira para as construções. Também pode ser lançado com bombas de concreto, guias ou simplesmente espalhado.

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), o concreto autoadensável teve sua primeira aplicação no Japão, entre o período de 1993-2003, em concretagem *in loco* de colunas e paredes de um edifício. Neville (2017), cita que o Reino Unido e os Estados Unidos utilizam o concreto autoadensável e o Japão, a Suécia e a Holanda são os líderes no uso de CAA. Segundo Tutikian (2007), no Brasil, o interesse pelo concreto autoadensável vem crescendo, o que tem aumentado seu uso em obras correntes e especiais, porém sendo mais comum em empresas de pré-fabricados.

O concreto autoadensável utilizado para a produção das unidades residenciais obedece a critérios rigorosos na sua formulação. Ainda assim, devido às propriedades do CAA, como grande fluidez e não utilizar vibradores, possibilitando reduzir o tamanho das equipes de concretagem, o CCA é a opção utilizada em relação ao concreto convencional (LIMA; COSTA, 2018).

### *2.2.1 Materiais componentes*

Os materiais utilizados no CAA são os mesmos utilizados para o concreto convencional, entretanto, com maior quantidade de finos (adições minerais quimicamente ativas ou filers) e de aditivos plastificantes, superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

De acordo com Aslani e Nejadi (2012, *apud* Costa e Cabral (2019)), apesar de os materiais empregados para confecção do CAA serem os mesmos usados no concreto convencional, as quantidades empregadas, bem como suas características no estado fresco são diferentes.

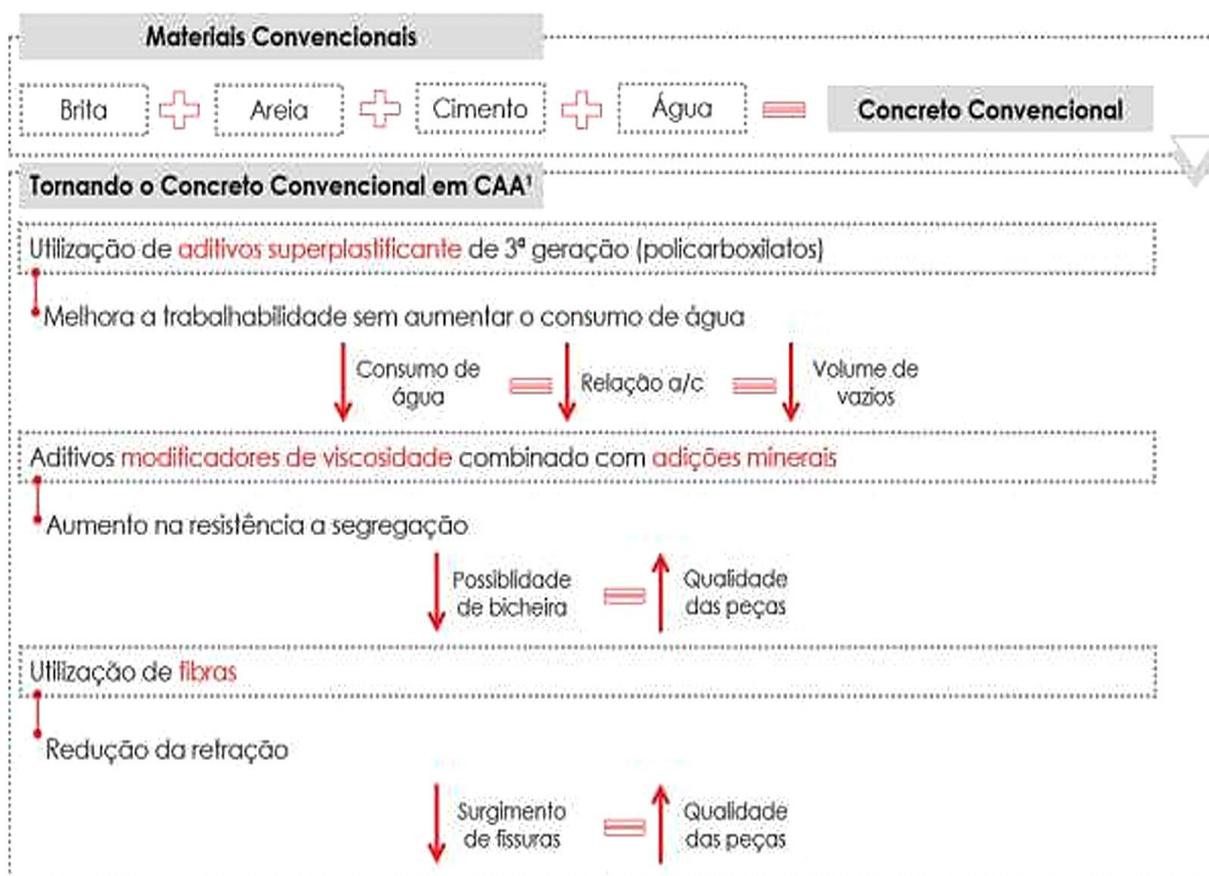
Na composição do CAA empregam-se mais materiais finos, geralmente em quantidades superiores a 420 kg/m<sup>3</sup> do concreto. A aplicação de finos como materiais cimentícios ou pozolânicos, faz com que a resistência característica do concreto seja da ordem de 40 MPa ou superior, contudo, para concretos de resistências menores, há a necessidade de haver materiais inertes, tais como fíler calcário, na composição dos finos do CAA (COSTA; CABRAL, 2019).

Outro diferencial para a produção do CAA é o uso de aditivos. Os principais aditivos usados nesse tipo de concreto são os superplastificantes e modificadores de viscosidade (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Segundo Silva (2021), o uso de aditivos superplastificantes auxiliam principalmente na trabalhabilidade, proporcionando maior facilidade de bombeamento, excelente homogeneidade, boa resistência e durabilidade. De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), os policarboxilatos são os aditivos dispersantes mais aconselhados para utilizar no CAA, por serem de alta eficiência que melhoram a dispersão de partículas de cimento e exigem o uso de menos água para fluidificar a pasta.

Na Figura 7, pode ser observada uma visão geral dos materiais utilizados para a dosagem de um CAA.

Figura 7 - Materiais utilizados para a dosagem do CAA e sua influência.



Fonte: Elaborado por Magalhães (2021), a partir de Tutikian e Dal Molin (2015), Araújo (2003) e Cabral (2019).

### 2.2.2 Caracterização do CAA

De acordo com a ABNT (2017), a NBR 15823-1 estabelece requisitos específicos para a classificação do CAA, que são caracterizados pelos quatro parâmetros listados a seguir:

- ❖ Fluidez e escoamento;
- ❖ Viscosidade plástica aparente;
- ❖ Habilidade passante;
- ❖ Resistência à segregação.

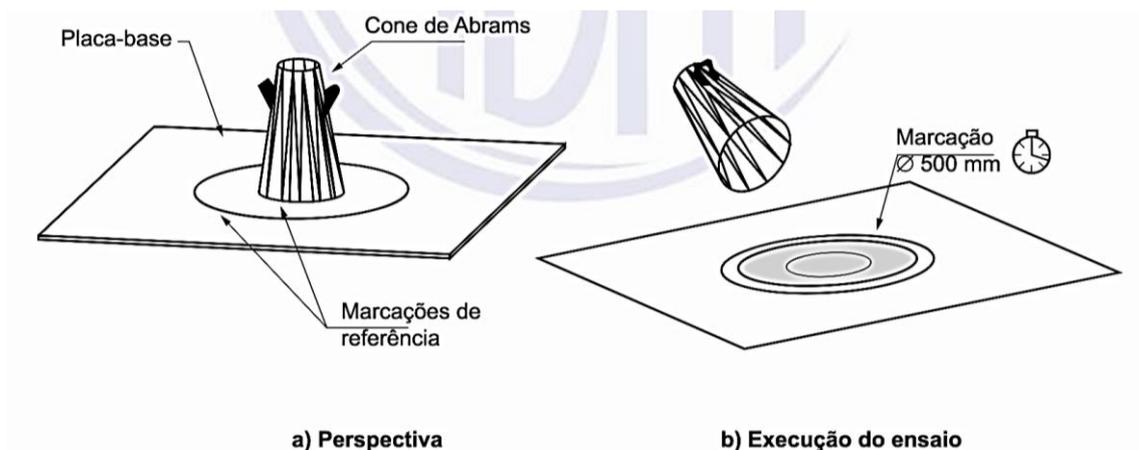
Dessa forma, a NBR 15823-1 especifica ensaios a serem realizados no CAA no estado fresco, a fim de caracterizar o concreto por completo, tais como:

- ❖ *Slump-flow*, para avaliar a fluidez e escoamento;
- ❖  $T_{500}$  e funil V, para avaliar a viscosidade plástica aparente;
- ❖ Anel J, caixa L e caixa U, para avaliar a habilidade passante;
- ❖ Coluna de segregação e método da peneira, para avaliar a resistência à segregação.

#### 2.2.2.1 Determinação do espalhamento e tempo de escoamento

A NBR 15823-2, estabelece o método de ensaio para avaliação da fluidez do concreto autoadensável, em fluxo livre, sob a ação do seu próprio peso, pela determinação do espalhamento e do tempo de escoamento do concreto autoadensável, utilizando o cone de Abrams, como mostra a Figura 8 (ABNT, 2017).

Figura 8 - Aparelhagem e marcações do Slump-flow



Fonte: ABNT (2017).

O *slump-flow test* é utilizado para medir a capacidade do CAA de fluir livremente sem segregar. Esse teste é uma adaptação de dois ensaios (abatimento do tronco de cone e determinação da consistência pelo espalhamento na mesa *Graff*), para um concreto excessivamente fluido (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Os autores citam, ainda, que espalhamentos muito baixos indicam que o concreto está pouco fluido, como mostra a Figura 9. Dessa forma, é necessário fluidificar o material com água ou aditivos superplastificantes.

Figura 9 - Slump-flow test realizado em um concreto pouco fluido, antes de adicionar o superplastificante.



Fonte: Arquivo da autora (2023).

Na Figura 10, é apresentado o processo do *slump-flow test* em um concreto CAA, sem segregação.

Figura 10 - Slump-flow test realizado em um concreto autoadensável.



Fonte: Arquivo da autora (2023).

Segundo a ABNT (2017), a NBR 15823-2 estabelece que os resultados do slump-flow são expressos por três métodos: espalhamento (*SF*); tempo de escoamento ( $t_{500}$ ); e pelo índice de estabilidade visual (*IEV*).

A NBR 15823-1 informa que o valor do espalhamento fornece indicações da fluidez do CAA e de sua habilidade de preenchimento em fluxo livre, e é normalmente especificado para todas as aplicações (ABNT, 2017). Na Tabela 1, estão apresentadas as classes de espalhamento e suas aplicações.

Tabela 1 – Classes de espalhamento do CAA em função de sua aplicação

| Classe de espalhamento | Espalhamento (mm) | Aplicação   | Exemplo                                     |
|------------------------|-------------------|---|---|
| SF 1                   | 550 a 650         | <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto, com deslocamento livre.</li> <li>❖ Estruturas que requerem uma curta distância de espalhamento horizontal do concreto autoadensável</li> </ul> | Lajes, estacas e certas fundações profundas |
| SF 2                   | 660 a 750         | Adequada para a maioria das aplicações correntes  | Paredes, vigas, pilares e outras            |
| SF 3                   | 760 a 850         | Estruturas com alta densidade de armadura e/ou de forma arquitetônica complexa, com uso de concreto com agregado graúdo de pequenas dimensões (menor que 12,5 mm)   | Pilares-parede, paredes-diafragma, pilares  |

Legenda: SF: fluidez e escoamento. Fonte: ABNT NBR 15823-1 (2017).

O ensaio  $t_{500}$  é realizado simultaneamente ao *slump-flow*, devendo observar o tempo, em segundos, em que a mistura leva para atingir o diâmetro de 500 mm, conforme apresenta a NBR 15823-2 (ABNT, 2107). Caso o concreto atinja 500 mm de diâmetro em até 2 segundos, será classificado como VS 1, no entanto, se o processo passar de 2 segundos, o CAA será classificado como VS 2, conforme mostra a Tabela 2.

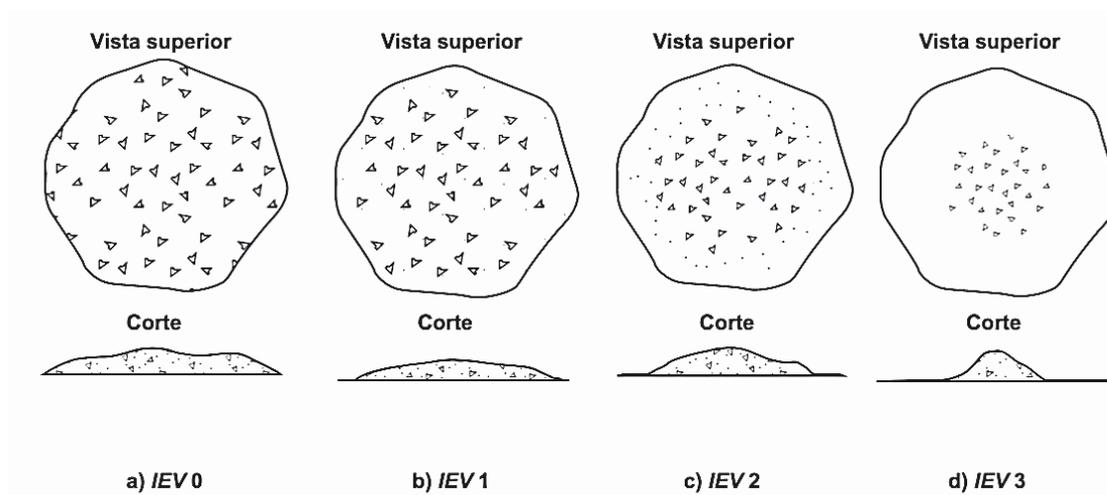
Tabela 2 – Classes de viscosidade plástica aparente  $t_{500}$  ( sob fluxo livre)

| Classe | $t_{500}$ (s) |
|--------|---------------|
| VS 1   | $\leq 2$      |
| VS 2   | $> 2$         |

Fonte: ABNT NBR 15823-1 (2017).

O resultado do ensaio de índice de estabilidade visual (*IEV*), é determinado visualmente pela análise do concreto imediatamente após o término do escoamento. O *IEV* é classificado em 4 classes, de acordo com a análise do CAA para a disposição dos agregados do CAA, conforme apresentado na Figura 11 e na Tabela 3.

Figura 11 – Classes do índice de estabilidade visual (*IEV*).



Fonte: ABNT NBR 15823-1 (2017).

Tabela 3 – Classes do índice de estabilidade visual (*IEV*).

| Classe                     | IEV   |
|----------------------------|---|
| IEV 0 (Altamente estável)  | Sem evidência de segregação ou exsudação  |
| IEV 1 (Estável)            | Sem evidência de segregação e leve exsudação  |
| IEV 2 (Instável)           | Presença de pequena auréola de argamassa ( $\leq 10$ mm) e/ou empilhamento de agregados no centro do concreto   |
| IEV 3 (Altamente Instável) | Segregação claramente evidenciada pela concentração de agregados no centro do concreto ou pela dispersão de argamassa nas extremidades (auréola de argamassa $> 10$ mm) |

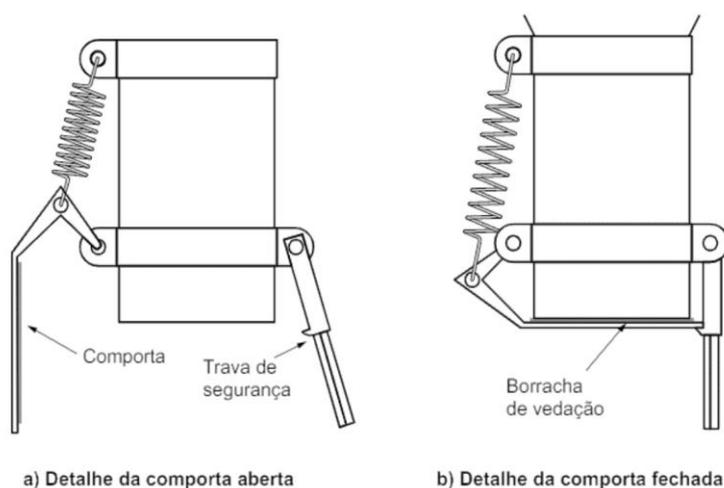
Fonte: ABNT NBR 15823-1 (2017).

### 2.2.2.2 Determinação da viscosidade plástica aparente

Segundo a ABNT (2017), a NBR 15823-5 prescreve o ensaio para a determinação da viscosidade do CAA, pela medida do tempo de escoamento de uma massa de concreto através do funil V. Esse equipamento mede a fluidez do concreto, sendo apropriado para agregados graúdos de diâmetro máximo de 20 mm (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

De acordo com a ABNT (2017), a NBR 15823-5 determina que o ensaio seja iniciado com a limpeza e umedecimento do funil V com água, a fim de que a água do concreto não seja absorvida indevidamente. Em seguida, com a comporta fechada (Figura 12), deve-se preencher o funil V com o CAA, uniformemente, sem adensamento e sem interrupção, no tempo inferior a 5 minutos após sua coleta.

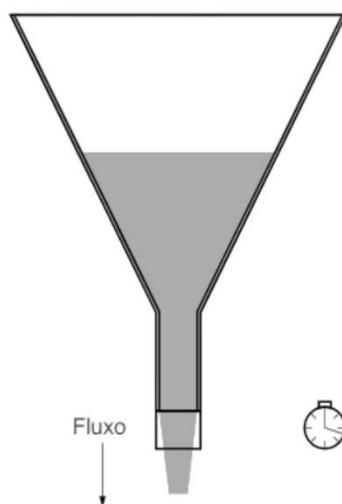
Figura 12 - Comporta do funil V



Fonte: ABNT (2017).

Após retirar o excesso de concreto da superfície do funil V, deve-se posicionar um recipiente metálico embaixo do funil V para a coleta do concreto. A abertura da comporta deve ser efetuada em um tempo de 10 segundos após o final de seu preenchimento. Dessa forma, ao abrir a comporta do funil, o CAA escoará unicamente sob a ação da gravidade, conforme mostra a Figura 13. O intervalo de tempo que o concreto leva para esvaziar completamente o funil, é o resultado desse ensaio, conforme cita Tutikian e Dal Molin (2008).

Figura 13 - Funil V



Fonte: ABNT (2017).

Após a execução do teste, é realizada a avaliação do fluxo de concreto no funil. Para estar de acordo com a norma, o fluxo de concreto deve ser contínuo. Caso ocorra obstrução, o ensaio deve ser repetido, porém, se a obstrução ocorrer novamente, admite-se que o concreto não apresentava a viscosidade e a habilidade passante necessárias para ser considerado autoadensável (ABNT, 2017).

De acordo com a NBR 15823-1, é importante determinar a viscosidade plástica aparente do concreto quando for requerido um com acabamento superficial ou quando a densidade da armadura for expressiva. Na tabela 4, são apresentadas as classificações da viscosidade plástica aparente para os dois métodos desenvolvidos e suas aplicações.

Tabela 4 – Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação.

| Classe da viscosidade plástica aparente | t500 s | Funil V s | Aplicação   | Exemplo  |
|---|--------|-----------|---|--|
| VS 1 / VF 1                             | ≤ 2    | ≤ 8       | Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas requer controle da exsudação e da segregação.<br>Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.  | Paredes-diafragma, pilares-parede, indústria de pré-moldados e concreto aparente |
| VS 2 / VF 2                             | > 2    | 9 a 25    | Adequado para a maioria das explicações correntes. Apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão e resiliência à segregação.<br>Efeitos negativos podem ser obtidos com relação à superfície de acabamento (ar aprisionado), no preenchimento de cantos e suscetibilidade a interrupções ou demora entre sucessivas camadas | Vigas, lajes e outras  |

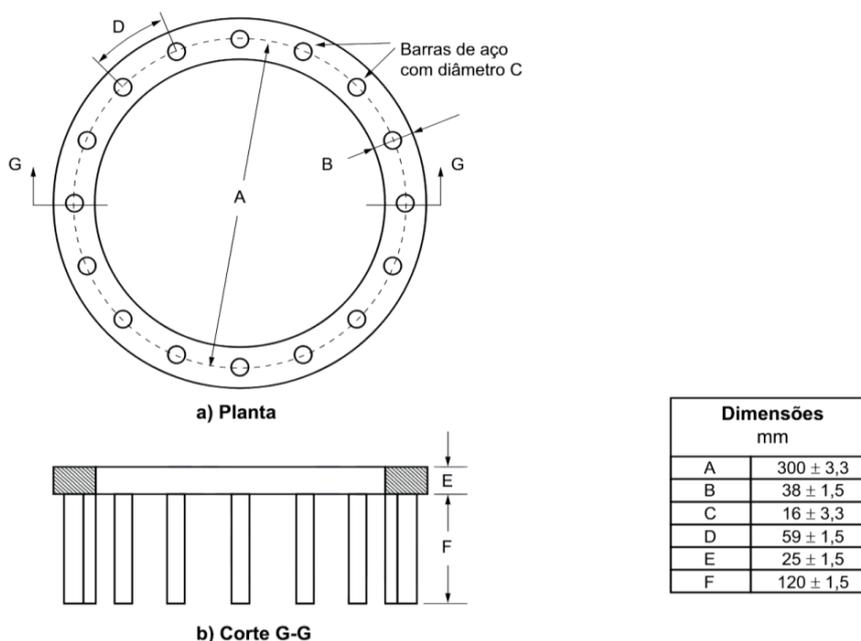
Fonte: ABNT NBR 15823-1 (2017).

### 2.2.2.3 Determinação da habilidade passante

Para caracterizar o concreto, a fim de avaliar a habilidade passante, a NBR 15823-1 determina a realização de três ensaios: anel J, caixa L e caixa U (COSTA; CABRAL, 2019).

O método do anel J é utilizado para avaliar a habilidade passante sob o fluxo livre (LEONEL *et al.*, 2018). De acordo com Tutikian e Dal Molin (2018), esse método é uma complementação de ensaios como *slump flow* e do funil V, por exemplo, sendo constituído por um anel de barras de aço espaçadas conforme a armadura real que se deseja simular. A Figura 14 mostra o anel J, em duas vistas e as dimensões requisitadas.

Figura 14 - Anel J



Fonte: ABNT (2017).

De acordo com a NBR 15823-3, antes de iniciar o ensaio é necessário umedecer o molde e a placa-base e em seguida apoiá-los firmemente em uma superfície nivelada. Em seguida, posicionar o anel J sobre a placa-base, no centro, de acordo com as marcas de referência, e posicionar o molde sobre a placa para ser preenchido com o concreto, de forma contínua e uniforme, sem compactá-lo ou vibrá-lo (ABNT, 2017). Tutikian e Dal Molin (2008), comentam que o molde deve ser levantado verticalmente e o tempo em que o concreto alcança o círculo de 500 mm deve ser cronometrado. A Figura 13 mostra o processo de realização do teste do anel J.

Figura 15 - Teste anel J realizado em concreto autoadensável.



Fonte: Arquivo da autora (2023).

Segundo ABNT (2017), NBR 15823-3 determina que para obter os resultados do ensaio, é necessário calcular a média aritmética de duas medidas (mm) realizadas em direções perpendiculares, para determinar o espalhamento final com a utilização do anel *J*, determinado pela seguinte equação:

$$j_F = \frac{(j_1 + j_2)}{2} \quad (1)$$

onde,  $j_1$  é o diâmetro maior obtido no ensaio com o anel *J*; e  $j_2$  é o diâmetro menor obtido no ensaio com o anel *J*.

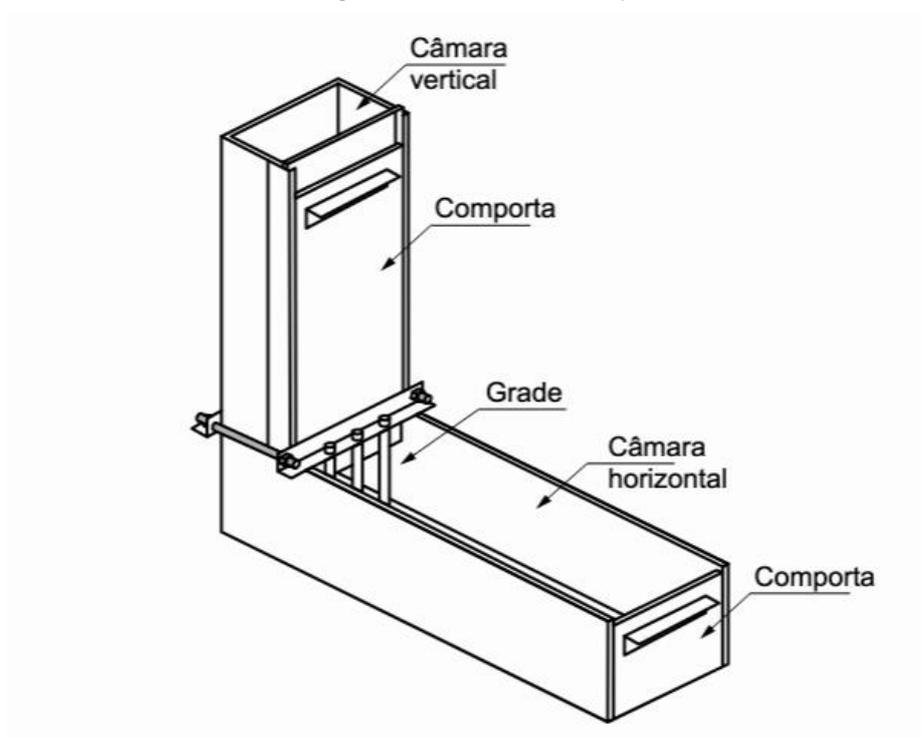
Além disso, a NBR 15823-5 recomenda o cálculo da diferença entre o diâmetro médio de espalhamento obtido com e sem a utilização do anel *J*, utilizando a seguinte equação:

$$PJ = SF - j_F \quad (2)$$

onde *SF* é a média aritmética dos dois valores de diâmetro de espalhamento obtidos no ensaio *slump flow*.

Além do anel *J*, outro ensaio realizado é o método da caixa *L*, o qual determina a habilidade passante do concreto autoadensável em fluxo confinado, utilizando uma caixa em formato de “L”, com uma comporta separando a parte vertical da horizontal, além de uma grade que simula a armadura real da estrutura, criando um obstáculo para a passagem do concreto, como mostra a Figura 16. Para Tutikian e Dal Molin (2008), este ensaio mede a fluidez do concreto, simultaneamente à sua capacidade de passar por obstáculos e permanecer coeso.

Figura 16 - Caixa L - Perspectiva



Fonte: ABNT (2017).

Segundo a NBR 15823-4, a amostra de concreto a ser utilizada no ensaio da caixa L deve ser homogênea e deve ter um volume de 15 L de concreto. Antes de inserir o concreto, é necessário umedecer as superfícies internas ou aplicar o desmoldante.

Com a comporta fechada, deve-se preencher a caixa L com o concreto, sem adensamento. Passado 1 minuto do preenchimento do concreto, deve ser aberta a comporta de forma rápida, uniforme e sem interrupção, de forma que o concreto escoe para a câmara horizontal, como apresentado na Figura 17.

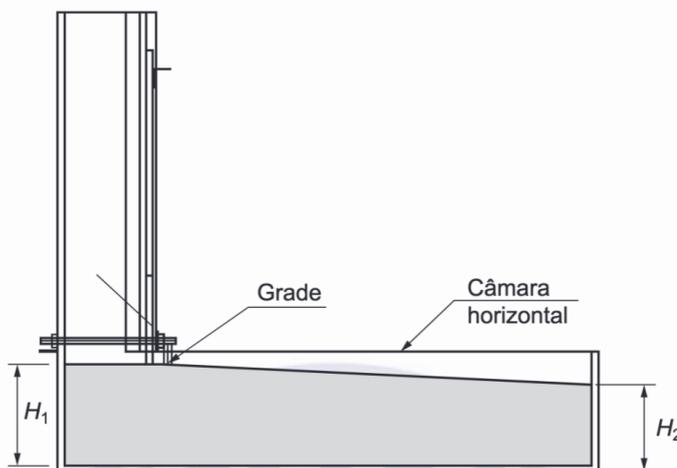
Figura 17 – Ensaio na Caixa L



Fonte: Arquivo da autora (2023)

De acordo com Tutikian e Dal Molin (2008), o resultado para esse método é obtido através da medição das alturas inicial ( $H_1$ ) e final ( $H_2$ ), em milímetros, indicadas na Figura 18, e calcular a habilidade passante ( $HP$ ), a partir da seguinte equação:

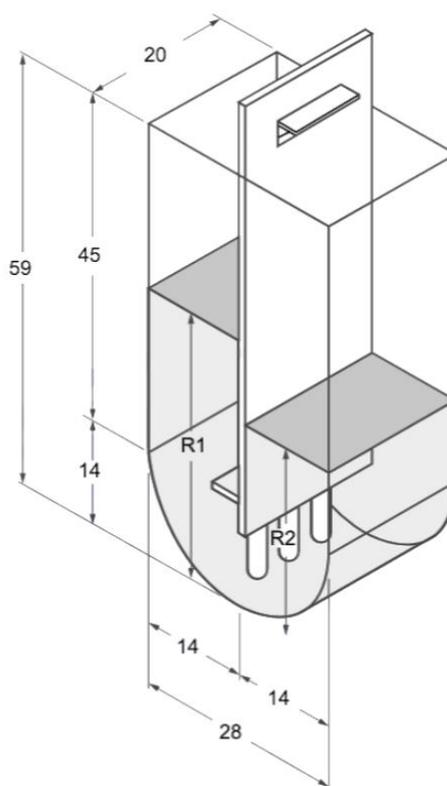
$$HP = \frac{H_2}{H_1} \quad (\text{Fórmula 3})$$

Figura 18 – Indicação das alturas  $H_1$  e  $H_2$ 

Fonte: ABNT (2017).

O ensaio realizado na caixa U é mais um teste realizado para determinar a habilidade passante do CAA no estado fresco, porém ele é optativo. A NBR 15823 define esse ensaio como a diferença de altura entre os dois compartimentos de uma caixa em formato de U (Figura 19), após o concreto permanecer em repouso durante 1 minuto, no interior da caixa. A norma ressalta que esse método de ensaio não é aplicável ao concreto autoadensável contendo agregado leve ou fibras (ABNT, 2017).

Figura 19 - Caixa U - Perspectiva (dimensões em centímetros)



Fonte: ABNT (2017).

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), para a realização do ensaio são necessários cerca de 16 litros de concreto no estado fresco, e inseri-lo do lado esquerdo, sem compactação ou vibração. Após 1 minuto, a comporta deve ser aberta, permitindo que o concreto passe para o lado direito, através da grade acoplada ao fundo da caixa U.

O resultado desse ensaio é obtido após o escoamento cessar, então deve medir as alturas do concreto em cada compartimento (R1 e R2), conforme a Figura 1,

e calcular a diferença entre as alturas (ABNT, 2017). Na Figura 20, é apresentado o ensaio de caixa U sendo executado.

Figura 20 - Ensaio caixa U em andamento



Fonte: Tutikian e Dal Molin (2008).

Quanto mais fluida a mistura for, mais próximo do zero esta subtração irá resultar. Isso indicará que o concreto é autoadensável, sendo que o limite máximo deve ser de 30 mm de diferença (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008). Os autores ressaltam a importância da observação do movimento da mistura, para que seja identificado algum tipo de segregação, pois o concreto coeso deve fluir sempre uniformemente com todos os seus componentes unidos, sem que haja separação.

Na tabela 5, são apresentadas as classes de habilidade passante para os três métodos desenvolvidos e suas aplicações.

Tabela 5 – Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação.

| Classe de habilidade passante | Anel J mm                          | Caixa L (H2/H1)                      | Caixa U (H2 - H1) | Aplicação   | Exemplo  |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|---|--|
| VS 1 / VF 1                   | 25 mm a 50 mm com 16 barras de aço | $\geq 0,80$ , com duas barras de aço | Não aplicável     | Adequada para elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 80 mm a 100 mm.                                   | Lajes, painéis, elementos de fundação                |
| VS 2 / VF 2                   | 0 a 25 mm com 16 barras de aço     | $\geq 0,80$ , com três barras de aço | Até 30 mm         | Adequada para a maioria das aplicações correntes. Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm | Vigas, pilares, tirante, indústria de pré-fabricados |

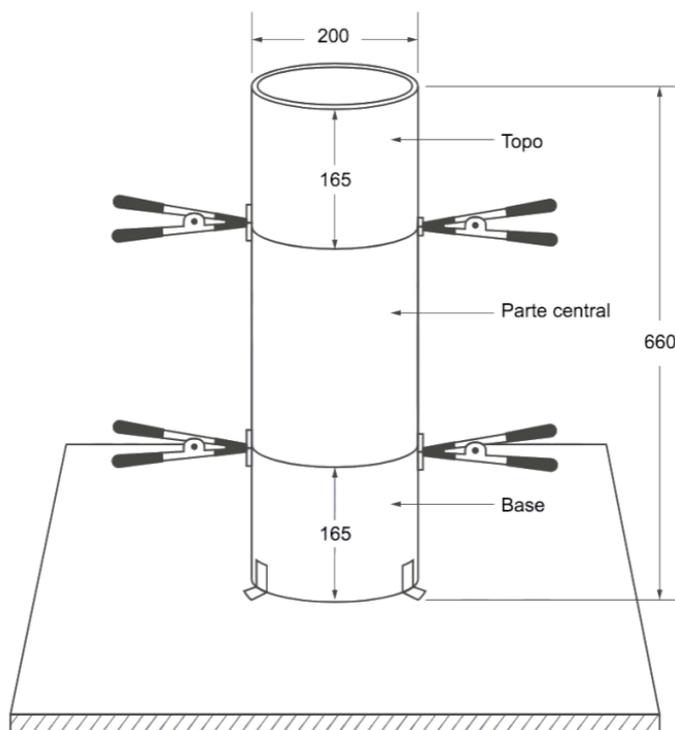
Fonte: ABNT NBR 15823-1 (2017).

#### 2.2.2.4 Determinação da resistência à segregação

Para determinar a resistência à segregação do CAA, a NBR 15823-6 estabelece a realização de dois ensaios: o método da coluna de segregação e o método da peneira, sendo este último como uma determinação facultativa. (ABNT, 2017).

O método da coluna de segregação é definido pela diferença das massas de agregado graúdo existentes no topo e na base da coluna de segregação, conforme mostra a Figura 21. A NBR 15823-6 ressalta que esse método de ensaio não é aplicável ao CAA contendo agregado leve ou fibras (ABNT, 2017).

Figura 21 - Coluna de segregação (dimensões em milímetros)



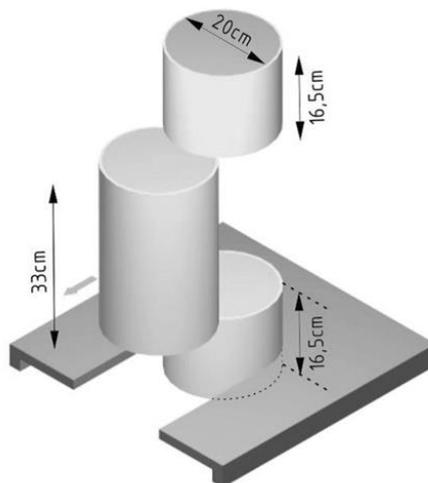
Fonte: ABNT (2017).

Segundo a NBR 15823-6 (ABNT, 2017), a execução do ensaio ocorre com a introdução de, aproximadamente, 20 litros de concreto na coluna, previamente limpa e umedecida com água, o excesso de concreto deve ser retirado do topo com uma colher de pedreiro, para que seja regularizada a superfície do concreto.

Após 20 minutos da moldagem, deve-se retirar as porções de concreto do topo e da base da coluna, como é representado na Figura 22. Para facilitar a extração

do topo, é necessário o auxílio de uma chapa metálica, a qual é colocada entre as seções do tubo, como mostra a Figura 23.

Figura 22 - Desenho esquemático da retirada as porções de concreto da coluna de segregação



Fonte: Alencar (2008).

Figura 23 - Execução da retirada da porção de concreto da coluna de segregação



Fonte: Arquivo da autora (2023).

O resultado deste ensaio é considerado a resistência à segregação (SR) expresso em porcentagem, pela seguinte equação:

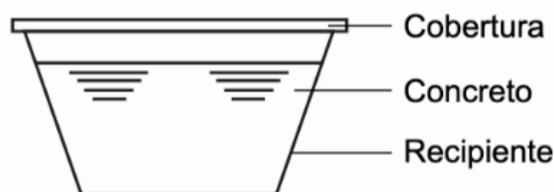
$$SR = \frac{2(m_B - m_T)}{m_B + m_T} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

onde,  $m_B$  é a massa (g) do agregado graúdo obtido na porção de concreto retirada da base da coluna; e  $m_T$  é a massa (g) do agregado graúdo obtido na porção de concreto retirada do topo da coluna. A NBR 15823-6 frisa que caso  $m_T$  seja maior ou igual a  $m_B$ , a segregação é zero (ABNT, 2017).

Como falado anteriormente, o segundo método utilizado para determinar a segregação do concreto autoadensável no estado fresco é o método da peneira. A NBR 15823-6 informa que este método tem como principal objetivo determinar a quantidade de concreto passante por uma determinada peneira, após a massa de concreto permanecer em repouso sobre essa peneira durante 2 minutos

De acordo com a NBR 15823-6, a amostra do concreto deve ser aproximadamente 10 litros, e deve colocá-lo em um recipiente com diâmetro interno mínimo de 200 mm e capacidade de no mínimo 11 litros, deixando-o em repouso durante 15 minutos com o recipiente coberto (Figura 24). No interior do recipiente, deve haver uma marcação indicando o volume de 10 litros. Após 15 minutos, deve-se verificar se houve exsudação na amostra de concreto.

Figura 24 - Configuração do recipiente após o enchimento de concreto

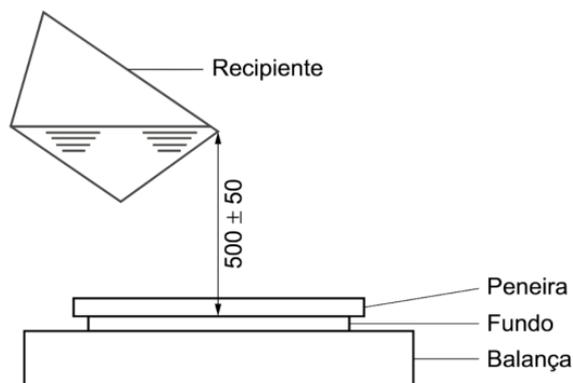


Fonte: ABNT(2017).

A amostra de concreto deve ser despejada em uma peneira com fundo, sobre uma balança tarada. O recipiente da amostra deve estar a 500 mm de distância acima da peneira. Dessa forma, deve-se registrar a massa de concreto ( $m_C$ ) em gramas. Após 120 segundos, retira-se a peneira e deve ser registrada a massa de

concreto passante pela peneira (mPS). Na figura 25 é apresentada a execução do ensaio. (ABNT, 2017).

Figura 25 - Execução do método da peneira para a determinação da resistência à segregação do CAA



Fonte: ABNT(2017).

De acordo com a NBR 15823-6, o resultado da resistência à segregação da amostra ( $SR$ ) é expresso pela seguinte equação:

$$SR = \frac{(m_{PS} - m_P) \times 100}{m_C} \quad (\text{Equação 5})$$

onde,  $m_{PS}$  é a massa (g) do fundo da peneira, contendo concreto passante pela peneira;  $m_P$  é a massa (g) do fundo da peneira; e  $m_C$  é a massa (g) de concreto inicialmente colocado sobre a peneira.

Na Tabela 6, é apresentado as classes de resistência à segregação e onde pode ser aplicado.

Tabela 6– Classes de viscosidade plástica aparente do CAA em função de sua aplicação.

| Classe de resistência à segregação *  | Coluna de segregação % | Distância a ser percorrida m | Espaçamento entre armaduras mm | Exemplo  |
|---|------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| SR 1  | ≤ 20                   | < 5                          | > 80                           | Lajes de pequena espessura;<br>Estruturas convencionais de pouca complexidade    |
| SR 2  | ≤ 15                   | > 5                          | > 80                           | Elementos de fundações profundas;  |
|   |                        | < 5                          | < 80                           | Pilares, paredes e elementos estruturais complexos;<br>Elementos pré-fabricados. |
| <p>* Quando a distância a ser percorrida pelo concreto for maior que 5 m e o espaçamento entre barras for inferior a 80 mm, deve ser especificado um valor de SR menor que 10 %.</p> <p>NOTA: SR 2 ou um valor-limite mais rigoroso pode ser especificado, se a resistência ou a qualidade da superfície for particularmente crítica.</p> |                        |                              |                                |  |

Fonte: ABNT NBR 15823-1 (2017).

### 2.3 Concreto Superfluido

O concreto superfluido (CSF) é um tipo de concreto que vem sendo utilizado no sistema parede de concreto. O nome “superfluido” foi adotado pelo mercado para identificar o concreto com um abatimento maior ou igual a 220 milímetros. A partir disso, o CSF tem que passar por ensaios de caracterização da norma ABNT NBR 15823:2017, para ser classificado como autoadensável ou não (IBRACON, 2021).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021), a Tabela 7 apresenta como a NBR 7212 (Concreto dosado em central — Preparo, fornecimento e controle) especifica as classes de consistência para o concreto de consistência normal, sendo o CSF classificado como S220, segundo Ibracon (2021).

Tabela 7 – Classes de consistência para o concreto de consistência normal.

| Classe   | Abatimento (A) mm   | Método de ensaio |
|--|---------------------|------------------|
| S10  | $10 \leq A \leq 50$ | ABNT NBR 16889   |
| S50  | $50 \leq A < 100$   |                  |
| S100   | $100 \leq A < 160$  |                  |
| S160   | $160 \leq A < 220$  |                  |
| S220   | $A \geq 220$        |                  |
| <p><i>NOTA: Em comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.</i></p> |                     |                  |

Fonte: ABNT (2021)

## 2.4 Manifestações patológicas no sistema parede de concreto

Para que uma estrutura de concreto desempenhe suas funções previstas, é necessário que o concreto mantenha sua resistência e sua condição de utilização durante um tempo específico, sendo capaz de suportar o processo de deterioração a que estará exposto. A deterioração do concreto pode ocorrer tanto por fatores externos, quanto por causas internas do concreto, podendo ser classificadas como físicas, mecânicas ou químicas. (NEVILLE, 2017).

Segundo Takata (2009), a durabilidade de uma estrutura está diretamente relacionada com o meio onde foi edificada, bem como com a tecnologia com a qual foi construída.

As manifestações patológicas, comumente, têm origem nas fases de projeto e execução da edificação. Durante o processo construtivo, a mão de obra não qualificada, a ausência do controle de qualidade da execução, bem como materiais e componentes de qualidade desfavorável, e irresponsabilidades técnicas são exemplos de falhas que podem, futuramente, ocasionar manifestações patológicas. Na fase de utilização da edificação, podem ocorrer manifestações patológicas, porém diretamente ligadas à perda de desempenho de uma estrutura (LISBOA *et al.*, 2017).

Para Takata (2009), as causas das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado estão ligadas diretamente à etapa de construção. Essas causas são:

- a) Interpretação do projeto;
- b) Materiais de construção em geral;
- c) Controle de qualidade de execução;
- d) Deficiência nas formas e escoramentos;
- e) Deficiências nas armaduras;
- f) Erros na concretagem.

Como qualquer sistema construtivo, as paredes de concreto podem apresentar manifestações patológicas, podendo comprometer o desempenho e a durabilidade das estruturas. De acordo com Sousa e Badaró (2019), vazios e nichos de concretagem, fissuras, e defeitos na superfície do concreto são exemplos de manifestações patológicas que podem ocorrer no sistema parede de concreto.

#### *2.4.1 Fissuras*

O sistema parede de concreto apresenta uma estrutura muito rígida, com alta restrição à variação volumétrica, e gera altas tensões quando submetida à imposição de deformações, como a retração. Dessa forma, uma das grandes preocupações desse método é a possibilidade de fissuração do concreto autoadensável (WENDLER; MONGE, 2018).

As fissuras manifestam-se, no sistema parede de concreto, em ângulos de 45° e 90°, as quais podem ser causadas devido à falta ou mau posicionamento da armadura de reforço no entorno dos vãos das esquadrias. Ainda, podem ocorrer fissuras sem aberturas próximas nas paredes, que podem ser ocasionadas devido à falta de cura apropriada e exsudação do concreto pela superfície porosa (MESOMO, 2018).

Trincas e fissuras são pontos onde pode ocorrer infiltração de agentes agressivos, aumentando a chance de carbonatação do concreto no local, de forma que inicie a corrosão das armaduras, prejudicando a estrutura. Dessa forma, podem aparecer fissuras maiores, por causa do deslocamento causado pela redução da seção do aço (MESOMO, 2018).

A retração é um fenômeno típico do concreto. Entretanto, caso ocorra uma retração no CAA, acima do normal, pode ser devido a alguns fatores como: o concreto autoadensável mal dimensionado, com poucos finos e muita água; e a falta de cura, causando grande perda de água inicial, devido a rapidez do processo construtivo, podendo inviabilizar a cura úmida (WENDLER; MONGE, 2018).

#### *2.4.2 Vazios e nichos de concretagem*

Vazios de concretagem, também conhecido popularmente como bicheiras são defeitos em pilares, vigas, lajes e paredes, manifestando-se por espaços não preenchidos no concreto. Como consequência, ocorrem os nichos de concretagem, os quais podem ser apenas problemas estéticos que podem ser corrigidos na aplicação do revestimento, ou até mesmo comprometer a resistência e a durabilidade da estrutura (NAKAMURA, 2016).

Segundo Takata (2009), a maior parte dos erros e descuidos no concreto corresponde às fases de aplicação e de cura dele. Por isso, o concreto deve ter cuidados específicos, para que sejam evitadas manifestações patológicas como os nichos de concretagem, por exemplo.

De acordo com Figuerola (2006), esse tipo de manifestação patológica acontece devido a falhas no processo de concretagem, devido ao lançamento e adensamento do concreto, entretanto, esse problema pode ocorrer devido ao erro no detalhamento da armadura. Para Moraes (2017):

O lançamento do concreto de alturas elevadas (superior a 2,0 metros), a dosagem inadequada (relação água/cimento elevada ou teor de aditivos) resultam um concreto sem coesão, peças esbeltas e/ou com formas complexas e o tamanho do agregado graúdo superior ao espaçamento das armaduras são algumas das causas dos nichos de concretagem.

#### *2.4.3 Juntas frias de concretagem*

Segundo Moraes (2017), as juntas frias, ou juntas de concretagem, se formam quando o lançamento do concreto é interrompido. Desse modo, torna-se

necessário tomar medidas que garantam a aderência entre os concretos novo e antigo.

As principais causas de juntas frias no sistema parede de concreto são os intervalos durante a concretagem e traços de concreto instáveis. Para que sejam evitadas as juntas frias, é recomendado executar a laje e as paredes ao mesmo tempo. Caso não seja possível realizar a execução contínua, é necessário que seja feito uma lavagem prévia do concreto antigo, antes da aplicação do concreto novo, tentando retirar resquícios de materiais e de cimento, para que ocorra a correta aderência da nova parede com a laje (ALVES, 2022).

## **2.5 Estudos Pertinentes**

Vários estudos foram realizados a respeito do sistema parede de concreto, bem como da utilização do concreto autoadensável nesse sistema, porém o tema concreto superfluido ainda é escasso, contudo, nenhum estudo foi realizado semelhante à comparação do concreto autoadensável e do concreto superfluido no sistema parede de concreto.

### *2.5.1 Holanda (2022)*

Holanda (2022), realizou um estudo utilizando ensaios não destrutivos, como o ensaio de ultrassom, no sistema paredes de concreto, a fim de determinar a qualidade do concreto autoadensável. Em seu trabalho, Holanda (2022) concluiu que os ensaios de ultrassom classificaram o concreto autoadensável utilizado para o estudo como de boa qualidade, onde foi obtido uma média geral de velocidade de pulso ultrassônico de 3431,1 m/s.

### *2.5.2 Ferreira (2019)*

Ferreira (2019), estudou a influência da incorporação de ar em concreto autoadensável para paredes de concreto moldadas *in loco*. Para tal, o autor utilizou traços do concreto autoadensável com classes de resistência C25 e C40. No concreto

com classe C25, a incorporação de ar resultou na elevada perda da resistência, onde só foi considerado o traço de referência.

Para classificar a qualidade do concreto C25 de referência, o autor realizou ensaios de ultrassom nos corpos de prova, concluindo que a qualidade do concreto autoadensável era considerada boa, no nível próximo a excelente, pois tinha um número pequeno de vazios, que permitem que a velocidade do pulso ultrassônico seja maior.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo tem o objetivo de apresentar o local onde o estudo foi realizado, a classificação da pesquisa, os métodos que foram utilizados para realizar o estudo, bem como o método utilizado para alcançar os resultados que serão analisados.

#### 3.1 Ambiente da pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida em uma obra localizada no bairro Centro, do município de Caucaia, a qual integra a Região Metropolitana de Fortaleza, no Estado do Ceará, como mostra a Figura 26. A construtora responsável está localizada em Fortaleza-Ceará. A obra, que será estudada, está situada no município de Caucaia, a qual integra a Região Metropolitana de Fortaleza - Ceará. A identidade da construtora, bem como da obra em estudo, será preservada. Desse modo, a construtora será intitulada como “Empresa A”, e a obra será nomeada como “Obra A”.

Figura 26 - Localização da Obra A, no Centro de Caucaia - Ceará.



Fonte: Google Earth (2023).

Desde 2013, a Empresa A atua no ramo da construção civil, em Fortaleza, bem como em edificações em geral e imobiliário, além de ter empreendimentos entregues em diversos municípios vizinhos, como Eusébio, Trairi e Russas. A Empresa A caracteriza-se pelo compromisso de apresentar projetos que sejam referenciais de qualidade, otimização de recursos e entrega no prazo.

Desde a fundação, a Empresa A vem adotando melhorias na gestão e processos, conquistando certificados na área da Qualidade, como o certificado SIAC 2021 – PBQPH – Nível A, e o certificado ISO 9001:2015. Na área Ambiental, a Empresa A também conquistou o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal, na categoria prata, a qual reconhece empreendimentos que usam de forma racional os recursos naturais, reduzindo custos e promovendo a conscientização de empreendedores e moradores sobre as vantagens da construção sustentável.

A Obra A, caracteriza-se por ser uma obra residencial, utilizando como método construtivo o sistema paredes de concreto (ver Figura 27), construído em um terreno de 17.647,93m<sup>2</sup>. O empreendimento é composto por 11 blocos de apartamentos, totalizando 336 unidades (ver figura 28), com 3 tipos de plantas de apartamentos de 41,49m<sup>2</sup>; 57,47m<sup>2</sup>; e 74,60m<sup>2</sup>, sendo esse último, apartamento duplex.

Figura 27 – Bloco 1 da Obra A, construído no sistema parede de concreto.



Fonte: Construtora A (2022).

Figura 28 - Representação do projeto da obra A



Fonte: Construtora A (2023).

Os apartamentos da Obra A são construídos no âmbito do programa Casa Verde e Amarela, com financiamento da Caixa Econômica Federal. A Obra A tem como público-alvo famílias com renda de até 4 salários-mínimos, e tem o objetivo de promover o bem-estar de famílias, possuindo diversas áreas, como piscina, coworking, quadra de esportes, playground e academia.

### 3.2 Natureza da pesquisa

A natureza da pesquisa deste trabalho, quanto à abordagem, será qualitativa e quantitativa.

De acordo com Creswell e Creswell (2021), a pesquisa qualitativa é uma abordagem voltada para exploração e para o entendimento do significado que indivíduos ou grupos atribuem a um problema social ou humano. Para esse tipo de pesquisa são coletados dados a partir de perguntas e procedimentos, geralmente no ambiente do participante. Segundo Gerhardt e Silveira (2009):

Os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não-métricos (suscitados e de interação) e se valem de diferentes abordagens. [...] Os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos, pois os dados analisados são não-métricos (suscitados e de interação) e se valem de diferentes abordagens.

Diferente da pesquisa qualitativa, Creswell e Creswell (2021) esclarece:

A pesquisa quantitativa é uma abordagem que procura testar teorias objetivas, examinando a relação entre variáveis. Tais variáveis, por sua vez, são medidas, geralmente, com instrumentos para que os dados numéricos possam ser analisados com procedimentos estatísticos. O relatório final tem uma estrutura fixa, que consiste em introdução, literatura e teoria, métodos, resultados e discussão. Como na pesquisa qualitativa, os pesquisadores que se engajam nessa forma de investigação seguem pressupostos, como a testagem dedutiva das teorias, a criação de Barreiras contra o viés ou tendenciosidade, o controle de explicações alternativas e a sua capacidade para generalizar e para replicar os achados.

### 3.3 Tipologia da pesquisa

O presente trabalho utilizará os seguintes tipos de pesquisa: bibliográfica; documental, descritiva; exploratória, e um estudo de caso.

A pesquisa bibliográfica é uma pesquisa elaborada a partir de materiais publicados, como livros, artigos científicos, revistas, monografias, dissertações, teses, colocando o pesquisador em contato direto com todo material existente sobre o assunto da pesquisa (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Para Souza *et al.* (2013), a pesquisa documental é semelhante à pesquisa bibliográfica, porém a pesquisa documental se utiliza de materiais que não receberam um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa.

A pesquisa descritiva expõe as características de uma determinada população ou fenômeno, demandando técnicas padronizadas de coleta de dados, como questionários e observação sistêmica. Em geral, assume uma forma de levantamento (PRODANOV; FREITAS, 2013).

De acordo com Bertolini (2016):

A pesquisa exploratória busca tornar um problema e/ou fenômeno mais explícito. Auxilia ainda ao propor aspectos ou particularidades que podem ser abordados a partir desta pesquisa em novos trabalhos. Muitas vezes, estabelece as bases que fundamentam o estudo, sendo uma etapa preparatória ou introdutória para a pesquisa descritiva ou explicativa, podendo-se, a partir dela, estabelecer ou formular novas hipóteses ou mesmo auxiliar na definição de novo enfoque de estudo.

Como estratégia de pesquisa, o estudo de caso compreende um método que abrange tudo, com a lógica de planejamento, incorporando abordagens específicas à coleta de dados e à análise de dados (YIN, 2014).

### **3.4 Coleta e análise de dados**

A coleta de dados da pesquisa teve início em agosto de 2023. Primeiramente, foi enviado um questionário, devidamente elaborado, para o responsável pela Empresa A, a fim de realizar uma pesquisa qualitativa do sistema construtivo utilizado na obra A. Para isso, foram utilizadas perguntas abertas contidas no Apêndice A - Parte 1, a fim de investigar aspectos relevantes do sistema construtivo adotado, como por exemplo a razão pela qual a empresa optou pelo uso do sistema parede de concreto.

Em seguida, foram feitas perguntas contidas no Apêndice A - Parte 2, abordando as características do concreto utilizado pela empresa para o referido método construtivo, incluindo informações sobre o tipo de concreto, suas vantagens e desvantagens. Essa etapa visou ampliar o entendimento sobre as propriedades do material utilizado. Também, no Apêndice A - Parte 2, foi abordado o assunto financeiro, buscando avaliar os aspectos prescritos relacionados ao tipo de concreto utilizado, considerando seus custos e benefícios.

Além do questionário, foram realizadas visitas à obra A, com o objetivo de acompanhar a execução do sistema construtivo, bem como observar como a Empresa A recebe o concreto e utiliza-o no sistema construtivo. Durante essas visitas, foram feitas observações e registros pertinentes sobre o sistema construtivo e o concreto utilizado, para uma análise posterior dos resultados obtidos.

Foi realizado o acompanhamento da validação dos traços do concreto, por meio de ensaios de caracterização, visando classificá-lo antes da sua aplicação na obra A. A execução do concreto na obra foi acompanhada, observando todos os aspectos relevantes, desde o modo como o concreto é lançado nas fôrmas, até a retirada delas.

Outro passo da pesquisa foi a verificação visual das paredes de concreto, após o processo de cura, com a finalidade de verificar a qualidade da estrutura, bem como identificar a presença de possíveis manifestações patológicas.

Por fim, foi realizada uma avaliação da qualidade do concreto depois de executado em relação ao número de vazios, através do ensaio de ultrassom nas paredes de concreto.

Com a conclusão dessas etapas, busca-se obter uma análise abrangente do sistema de parede de concreto utilizado na obra A, considerando aspectos qualitativos, financeiros e de qualidade do concreto empregado.

### 3.5 Método

Nessa seção, constam os procedimentos realizados para a obtenção dos resultados que foram analisados, para fins comparativos entre a qualidade das paredes de concreto autoadensável e superfluido.

#### 3.4.1 Traço do Concreto

Os concretos autoadensável e superfluido, utilizados na obra A, foram produzidos pela usina A.

Os materiais utilizados no concreto da usina A foram: cimento Portland (CPV ARI) + agregado miúdo 1 (areia média) + agregado miúdo 2 (areia fina) + agregado graúdo (brita 0) + aditivo 1 + aditivo 2 + adição (microfibra de polipropileno). Na tabela 8, está contida a quantidade desses materiais.

Tabela 8 – Traço empregado – Usina A.

| <b>Traço de concreto Superfluido – Usina A</b>   |                              |                                  |                                 |                              |                           |                                |                                |                             |
|--|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| fck (MPa)  | Cimento (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia Média (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia Fina (kg/m <sup>3</sup> ) | Brita 0 (kg/m <sup>3</sup> ) | Água (kg/m <sup>3</sup> ) | Aditivo 1 (ml/m <sup>3</sup> ) | Aditivo 2 (ml/m <sup>3</sup> ) | Adição (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 25,0   | 380                          | 344                              | 227                             | 678                          | 228                       | 3585                           | 0,812                          | 0,3                         |
| <b>Traço de concreto Autoadensável – Usina A</b> |                              |                                  |                                 |                              |                           |                                |                                |                             |
| fck (MPa)  | Cimento (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia Média (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia Fina (kg/m <sup>3</sup> ) | Brita 0 (kg/m <sup>3</sup> ) | Água (kg/m <sup>3</sup> ) | Aditivo 1 (ml/m <sup>3</sup> ) | Aditivo 2 (ml/m <sup>3</sup> ) | Adição (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 25,0   | 400                          | 454                              | 454                             | 782                          | 240                       |                                | 2480                           | 0,3                         |

Fonte: Usina A, (2023)

Por questões contratuais, a Construtora A decidiu mudar de concreteira, e contratou a Usina B para produzir os concretos autoadensável e superfluido. Nesse estudo, para as paredes de concreto produzido pela usina B, foi realizada somente a análise visual. Dessa forma, a Tabela 9 apresenta o traço utilizado pela usina B.

Tabela 9 – Traço empregado – Usina A.

| <b>Traço de concreto Autoadensável – Usina B</b> |                              |                                  |                                 |                              |                           |                                |                                |                             |
|--|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| fck (MPa)  | Cimento (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia Média (kg/m <sup>3</sup> ) | Areia Fina (kg/m <sup>3</sup> ) | Brita 0 (kg/m <sup>3</sup> ) | Água (kg/m <sup>3</sup> ) | Aditivo 1 (ml/m <sup>3</sup> ) | Aditivo 2 (ml/m <sup>3</sup> ) | Adição (kg/m <sup>3</sup> ) |
| 25,0   | 375                          | 541                              | 361                             | 791                          | 220                       | 1145                           | 2680                           | 0,3                         |

Fonte: Usina B, (2023)

### 3.4.2 Acompanhamento do lançamento do concreto nas fôrmas

Foram realizadas visitas à obra A, para observar desde a chegada do concreto à obra, até o lançamento do concreto nas fôrmas.

No primeiro dia de visita, foram realizados os ensaios de caracterização (Figuras 29, 30 e 31), moldagem de corpos de prova e em seguida a concretagem.

Figura 29 - Aparelhos de ensaio de caracterização do concreto (1º dia).



Fonte: Autora (2023).

Figura 30 - Realização de ensaio de caracterização (anel J) antes do lançamento do concreto (1º dia).



Fonte: Autora (2023).

Figura 31 - Realização de ensaio de caracterização (caixa L), antes do lançamento do concreto (1º dia).



Fonte: Autora (2023).

No segundo dia de visita a obra, foram realizados o recebimento do concreto, os ensaios de caracterização do concreto (Figura 32), a moldagem de corpos de prova e em seguida a concretagem (Figura 33). Além disso, foi realizada a verificação visual da parede de concreto produzida com o concreto utilizado no 1º dia de concretagem.

Figura 32 – Realização de ensaio de caracterização antes do lançamento do concreto (2º dia).



Fonte: Autora (2023).

Figura 33 - Lançamento do concreto nas fôrmas das paredes



Fonte: Autora (2023).

### *3.4.3 Ensaio de ultrassom*

Para realizar o ensaio não destrutivo deste estudo, foi utilizado o aparelho de ultrassom Pundit, da marca PROCEQ (Figura 34). O ultrassom possui dois transdutores de 54 kHz (Figura 35), largura de banda de 20 a 500 kHz, podendo medir até 15 m dependendo da qualidade do concreto.

Figura 34 - Ultrassom Pundit, utilizado no ensaio.



Fonte: Autora (2023).

Figura 35 – Transdutores de 54 kHz, do ultrassom Pundit, utilizados no ensaio.



Fonte: Autora (2023).

Antes de iniciar o ensaio nas paredes de concreto, foi realizada a calibração do aparelho usando a barra de referência, conforme orientação da NBR 8802 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019) (Figura 36).

Figura 36 -- Realização da calibração do aparelho de ultrassom.



Fonte: Autora (2023).

Os ensaios de ultrassom foram realizados em 8 paredes de concreto entre autoadensável e superfluido, conforme tabela 10, a seguir.

Tabela 10 – Localização das paredes de concreto – Usina A.

| Parede | Bloco | Pavimento    | Apartamento | Tipo do concreto |
|--------|-------|--------------|-------------|------------------|
| P1     | H     | Térreo       | 103         | Superfluido      |
| P2     | H     | Térreo       | 102         | Superfluido      |
| P3     | H     | 3º Pavimento | 402         | Autoadensável    |
| P4     | H     | 3º Pavimento | 401         | Autoadensável    |
| P5     | H     | 2º Pavimento | 304         | Autoadensável    |
| P6     | H     | 2º Pavimento | 303         | Autoadensável    |
| P7     | J     | Térreo       | 103         | Superfluido      |
| P8     | J     | Térreo       | 102         | Superfluido      |

Fonte: Autora (2023).

Para cada parede, foi dimensionado um quadrado, medindo 1x1 m, com pontos distribuídos a cada 20 cm, equidistantes entre si, partindo de um ponto localizado a 10 cm das bordas, como mostra a Figura 37.

Figura 37 – Pontos na parede de concreto, utilizados para o ensaio.

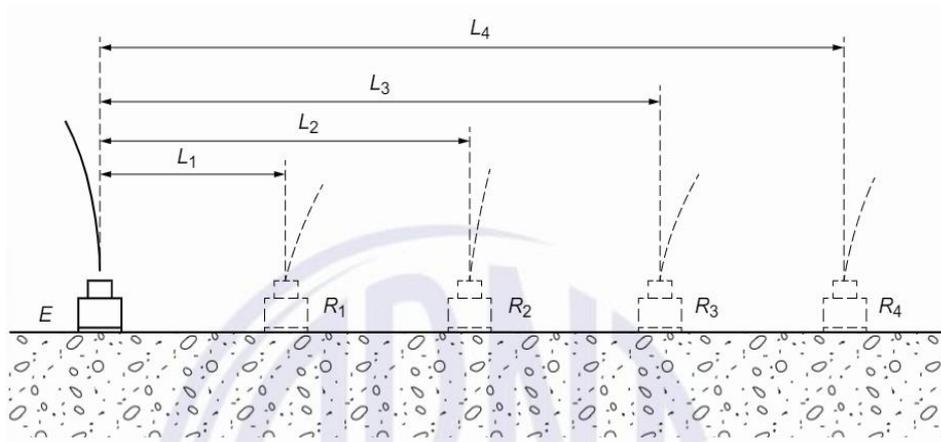


Fonte: Autora (2023).

Em cada ponto foi medido o tempo (em segundos) de propagação da onda, obtida por pulsos ultrassônicos, no concreto. A partir do tempo de propagação da onda e das distâncias entre os pontos, foi calculada a velocidade de pulsos ultrassônicos (VPU) para cada ponto.

A posição relativa utilizada entre os transdutores foi a transmissão indireta (Figura 38), pois obteve-se acesso apenas a uma face das paredes, e as faces tinham comprimento suficiente para propiciar o deslocamento do transdutor-receptor, conforme a NBR 8802 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019).

Figura 38 - Transmissão indireta.



Fonte: NBR 8802 (ABNT, 2019).

A Figura 39 apresenta a realização do ensaio de ultrassom, modo transmissão indireta, em uma das paredes de concreto.

Figura 39 – Realização do ensaio de ultrassom por transmissão indireta, na parede de concreto.



Fonte: Autora (2023).

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos na validação do concreto autoadensável, resultados obtidos no ensaio de ultrassom, realizado nas paredes de concreto da Obra A, bem como os mapas desenhados pelo programa Surfer, junto com a análise dos concretos autoadensável e superfluido.

### 4.1 Avaliação da caracterização do concreto

Com base nos dois dias de visitas à obra, foi observado que o concreto autoadensável da usina A não seguiu todos os requisitos estabelecidos pela NBR 15823-1, para que o concreto seja classificado como CAA: fluidez; viscosidade plástica aparente, habilidade passante; e resistência a segregação. A Tabela 11, apresenta os resultados do ensaio à resistência à segregação no CAA da usina A.

Tabela 11 – Resultados das classes de resistência à segregação do concreto da usina A.

| Classe de resistência à segregação (RS) | Coluna de segregação – concreto da usina A | Coluna de segregação – ABNT NBR 15823-1 |
|---|--|---|
| SR 1                                    | 39,97%                                     | ≤ 20%                                   |
| SR 2                                    | 17,12%                                     | ≤ 15%                                   |

Fonte: Rafaela Fujita, 2023.

Conforme apresentado na Tabela 9, o concreto produzido pela usina A, apresentou uma resistência à segregação maior que a norma estabelece, sendo SR1 e SR2 maiores que os valores estabelecidos pela NBR 15832-1. No momento de validação do traço na obra, também foi possível verificar que o agregado graúdo tinha tamanho diferente do que foi acordado com a usina A, como mostra a Figura 40.

Figura 40 - Agregado utilizado pela usina A.



Fonte: Autora (2023).

#### 4.2 Avaliação da qualidade do concreto através dos dados da velocidade do pulso ultrassônico

Segundo Whitehurst, (1966 *apud* Soeiro *et al.* 2018), a Tabela 12 foi utilizada como parâmetro para análise dos ensaios de velocidade de ultrassom, que estabelece parâmetros com base em ensaios de concreto, com densidade de  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

Tabela 12 – Classificação da qualidade do concreto com base na velocidade do pulso ultrassônico.

| Velocidade de propagação da onda ultrassônica no concreto (m/s) | Qualidade do concreto |
|---|-----------------------|
| >4500   | Excelente             |
| 3500 a 4500   | Bom                   |
| 3000 a 3500   | Regular               |
| 2000 a 3000   | Ruim                  |
| < 2000  | Péssimo               |

Fonte: Whitehurst, 1951 *apud* Soeiro *et al.*, 2018.

Segundo Qasrawi (2000 *apud* Chies, 2014), as medições de velocidade do pulso ultrassônico podem ser usadas para:

- ❖ Detectar fissuras e vazios no interior do concreto;
- ❖ Controlar a qualidade do concreto e de produtos executados com ele, comparando com um concreto produzido de forma similar;
- ❖ Determinar as condições e deterioração do concreto;
- ❖ Determinar a profundidade de uma ruptura superficial.

### 4.3 Programa Surfer para ensaio de ultrassom

Com o objetivo de analisar os resultados do ensaio de ultrassom, foram empregados os parâmetros da Tabela 8, para que fossem observadas as zonas da qualidade de cada parede de concreto ensaiada. Na tabela 13, podem ser observados o as cores para a escala da qualidade do concreto:

Tabela 13 – Parâmetro de cores para diferenciar as zonas de qualidade.

| Cor de classificação | Velocidade da onda (m/s) | Qualidade do Concreto |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Verde                | >4500                    | Excelente             |
| Azul                 | 3500 a 4500              | Bom                   |
| Amarelo              | 3000 a 3500              | Regular               |
| Vermelho             | 2000 a 3000              | Ruim                  |
| Roxo                 | < 2000                   | Péssimo               |

Fonte: Autora (2023).

Para gerar os mapas, o Programa Surfer utiliza o método da interpolação das velocidades da onda que passam pelo concreto. Para uma melhor compreensão dos mapas que serão apresentados, foram atribuídas cores para identificar cada região. Dessa forma, as zonas que apresentarem tons de vermelho ou roxo, indicam uma velocidade de onda menor, indicando uma qualidade inferior do concreto, gerando a possibilidade de haver espaços vazios ou fissuras na parede de concreto.

No primeiro momento, foi realizado o ensaio de ultrassom em 4 paredes de concreto superfluido e 4 paredes de concreto autoadensável, produzidas pena usina A. A localização das paredes está descrita na Tabela 10.

A primeira parede analisada, construída com superfluido, estava localizada no térreo do bloco H. Na parede P1, foram realizadas 20 medições, conforme a Figura 41.

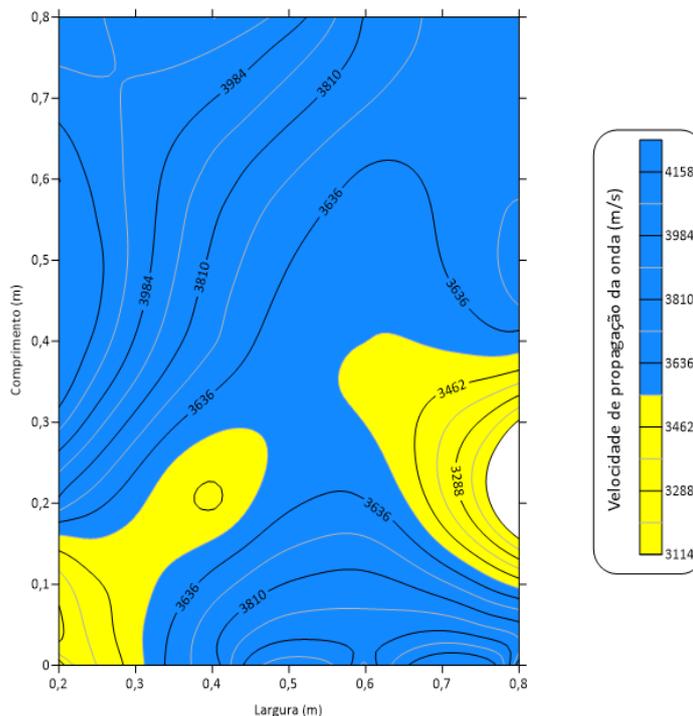
Figura 41 - Área ensaiada; pavimento térreo, bloco H, parede P1 – concreto superfluido.



Fonte: Autora (2023).

Na Figura 42, é possível observar que a parede 1 possui duas zonas, sendo uma zona de qualidade regular nas laterais e embaixo e uma predominância da zona boa na parede de cima do mapa, indicando possível ausência de vazios ou fissuras.

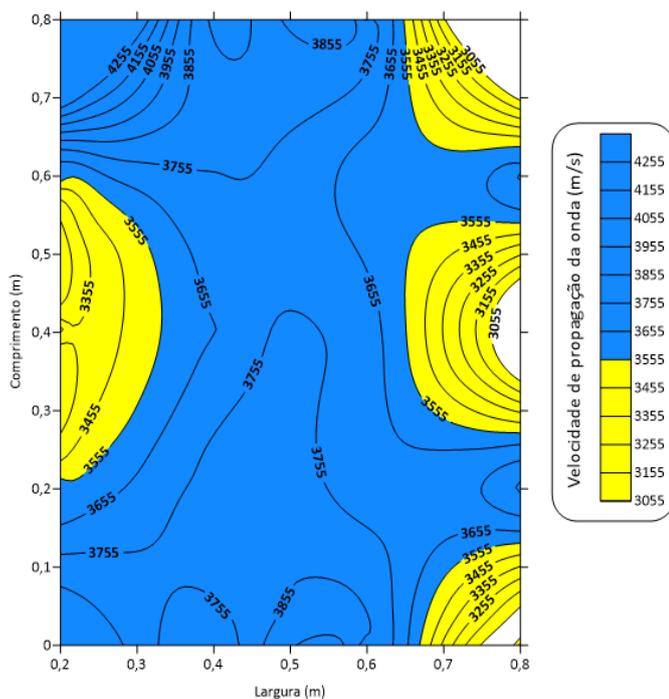
Figura 42 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P1 – concreto superfluido.



Fonte: Autora (2023).

A Figura 43 apresenta a velocidade de propagação da onda na parede de concreto superfluido, fabricado pela Usina A.

Figura 43 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P2 – concreto superfluido

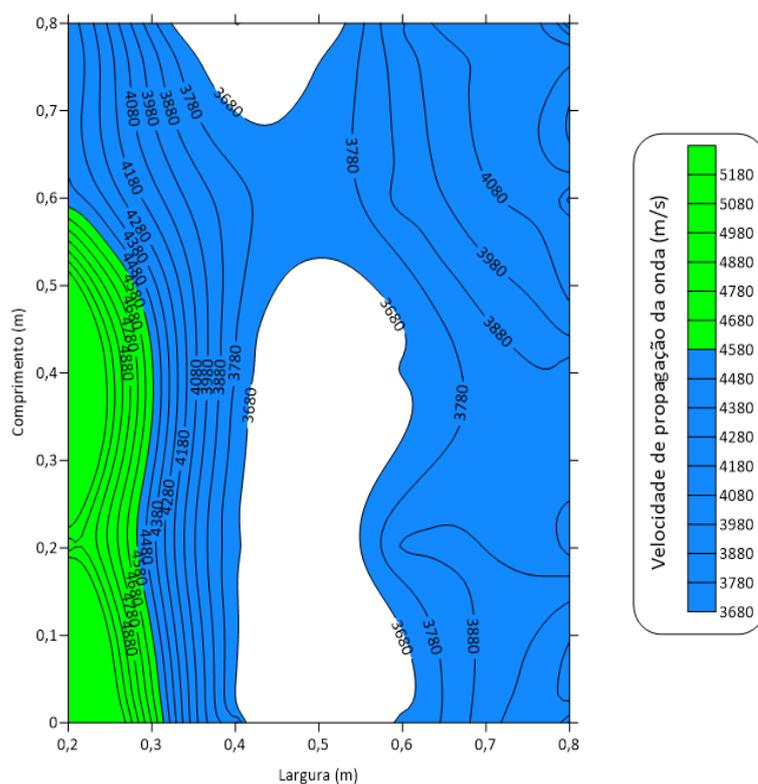


Fonte: Autora (2023).

Analisando a imagem, é possível ver que a parede P2 apresenta predominância de um concreto superfluido considerado bom. Nota-se que nessa parede existem zonas de qualidade regular nas laterais do mapa, e nos cantos inferiores e superiores do lado direito.

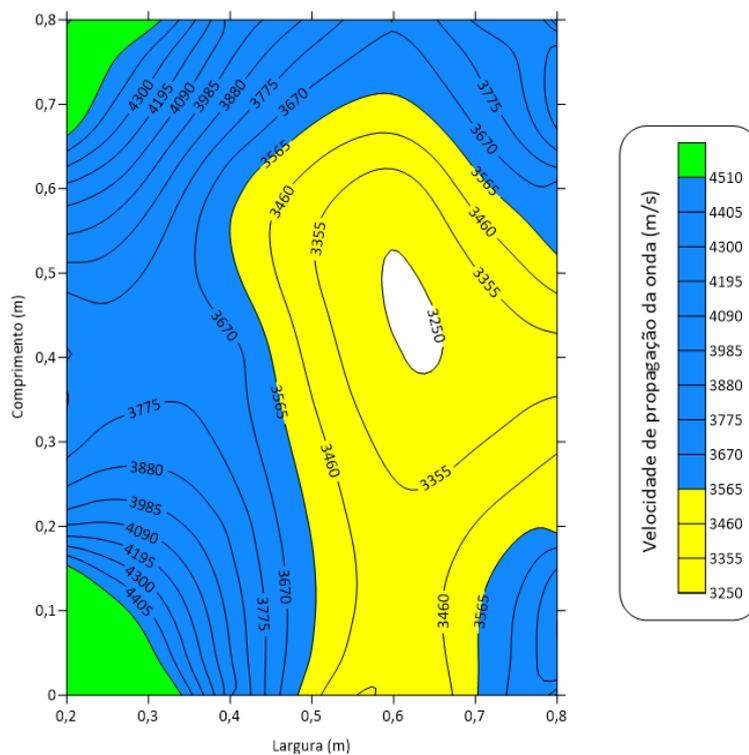
Nas figuras 44 e 45, são apresentados os mapas do ensaio de ultrassom nas paredes P3 e P4, construídas com concreto autoadensável, no 3º pavimento.

Figura 44 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P3 – concreto autoadensável



Fonte: Autora (2023).

Figura 45 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P4 – concreto autoadensável



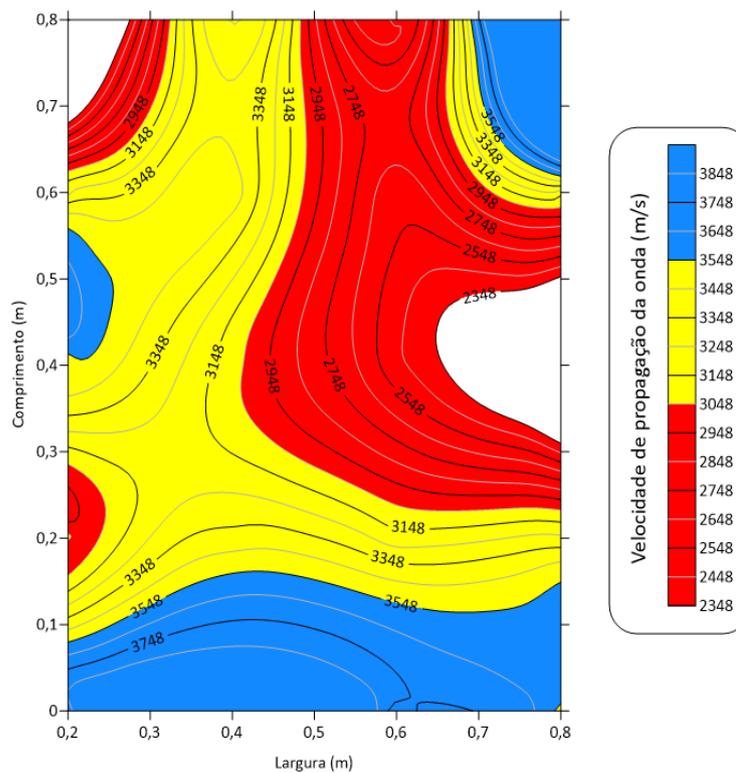
Fonte: Autora (2023).

Analisando a Figura 44, na parede P3, duas zonas, com a velocidade mínima de propagação da onda foi de 3680 m/s, representando uma qualidade boa do concreto autoadensável, atingindo uma qualidade excelente na lateral direita do mapa.

Analisando a Figura 45, percebe-se que a parede P4 apresenta três zonas, iniciando nos cantos inferiores e superiores com uma qualidade excelente, representado com uma velocidade acima de 4000 m/s, seguindo com as zonas boa e regular, na maior parte do mapa, sem a presença de vazios e fissuras.

A Figura 46, apresenta o mapa da parede P5, sendo uma parede de concreto autoadensável, localizada no 2º pavimento.

Figura 46 - Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P5 – concreto autoadensável.

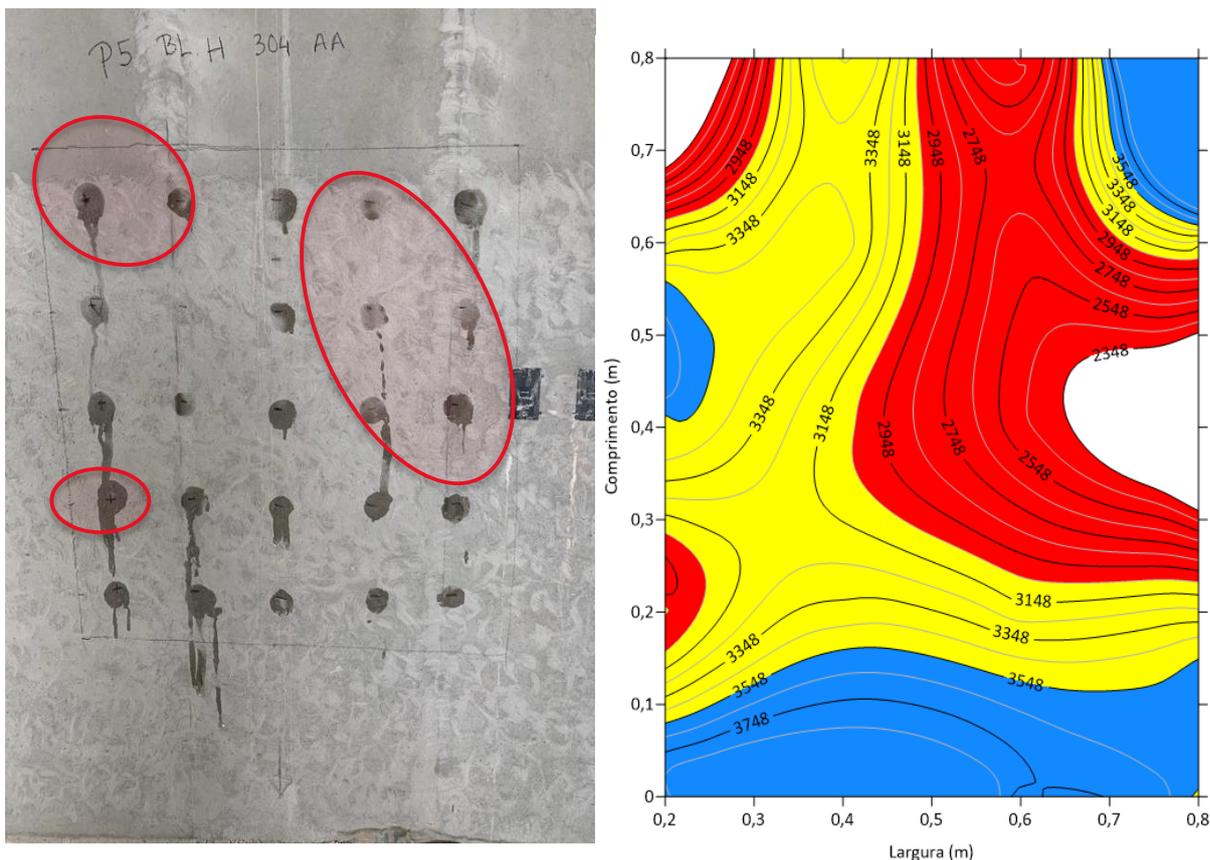


Fonte: Autora (2023).

Analisando a imagem, é possível observar que parede 5 apresenta uma grande zona de qualidade ruim, sendo detectado uma possível anomalia do meio para a lateral direita, e em uma pequena parte da lateral esquerda do mapa.

Na Figura 47, será apresentada a região dos possíveis vazios.

Figura 47 - Região delimitada e respectivo mapa gerado, ambos da parede P5 – concreto autoadensável.5.

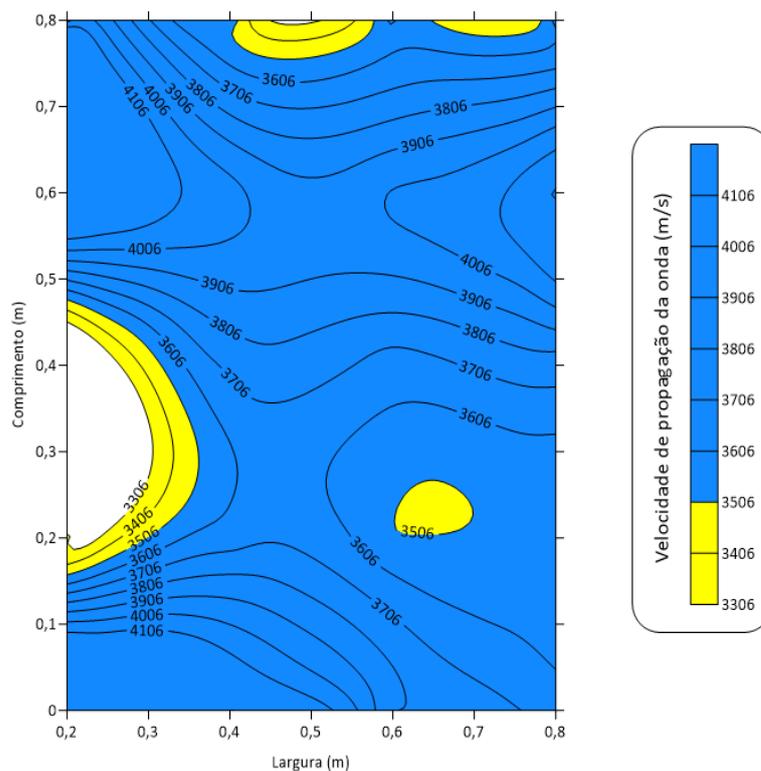


Fonte: Autora (2023).

A imagem acima apresenta três regiões consideradas ruins na parede P5, sendo destacadas pelos círculos em vermelho, alcançando uma velocidade de propagação da onda de 2948 m/s. Podemos observar na imagem que a superfície da parede de CAA está lisa, sem qualquer anomalia na parte externa, havendo a possibilidade de haver vazios nesses espaços. Na parte de baixo e no meio da superfície analisada, não apresentam indicações de vazios, sendo representado por uma zona boa e outra regular.

A Figura 48 apresenta o mapa gerado para a parede P6, moldada com concreto autoadensável, também no 2º pavimento.

Figura 48 – Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico na parede P6 – concreto autoadensável.

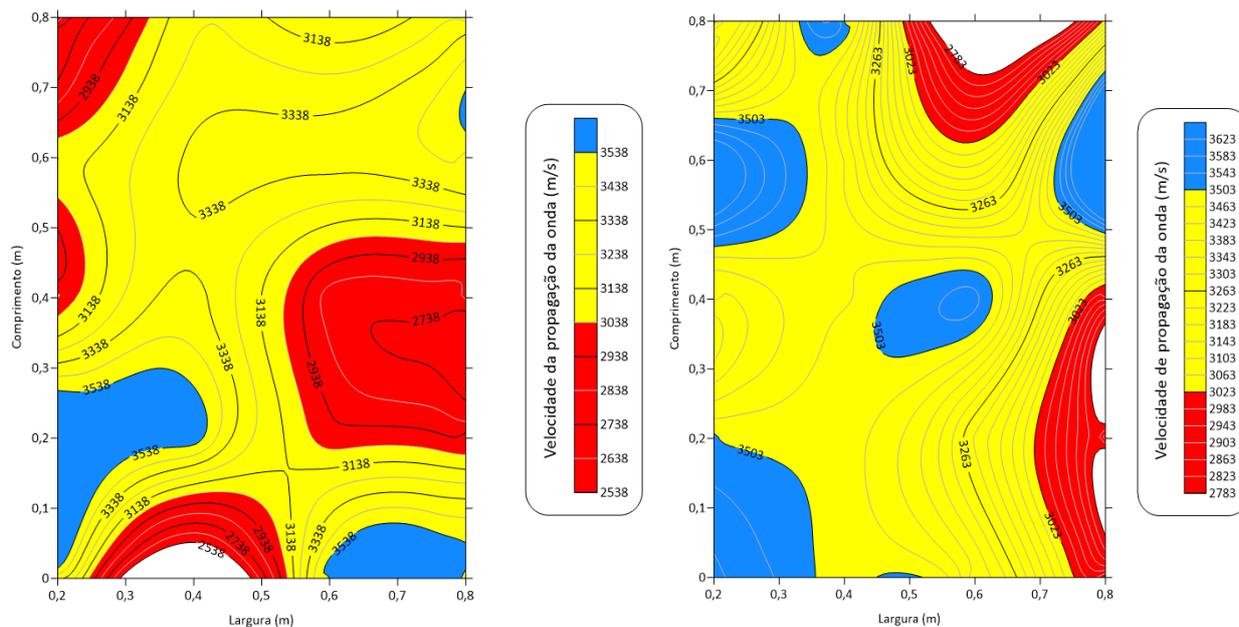


Fonte: Autora (2023).

Analisando a Figura 48, observa-se que a parede P6 não apresenta vazios, considerando que o valor mínimo de velocidade de propagação da onda é de 3306 m/s. A maior parte da área analisada pode ser considerada um concreto autoadensável de qualidade boa, sendo poucos espaços com qualidade regular.

As Figuras 49 e 50 apresentam as paredes P7 e P8, moldadas com concreto superfluido, no pavimento térreo.

Figura 49 e 50 Mapa de contorno da velocidade de pulso ultrassônico nas paredes P7 e P8, respectivamente – concreto superfluido.



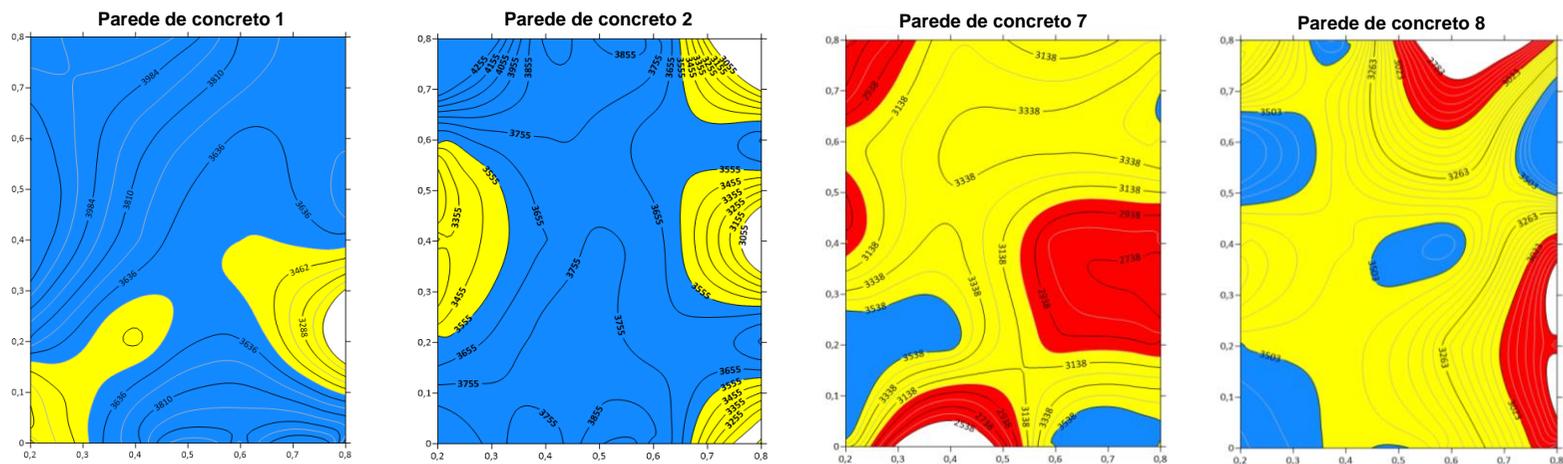
Fonte: Autora (2023).

Analisando as duas figuras, podemos observar que as duas paredes apresentam regiões em vermelho, indicando a presença de possíveis vazios. Na parede P7, há uma zona ruim maior em relação a parede P8. No entanto, os mapas apresentam pequenas zonas que indicam uma qualidade boa, havendo uma predominância de zona com qualidade regular.

#### 4.4 Análise comparativa dos mapas das paredes de concreto autoadensável e superfluido

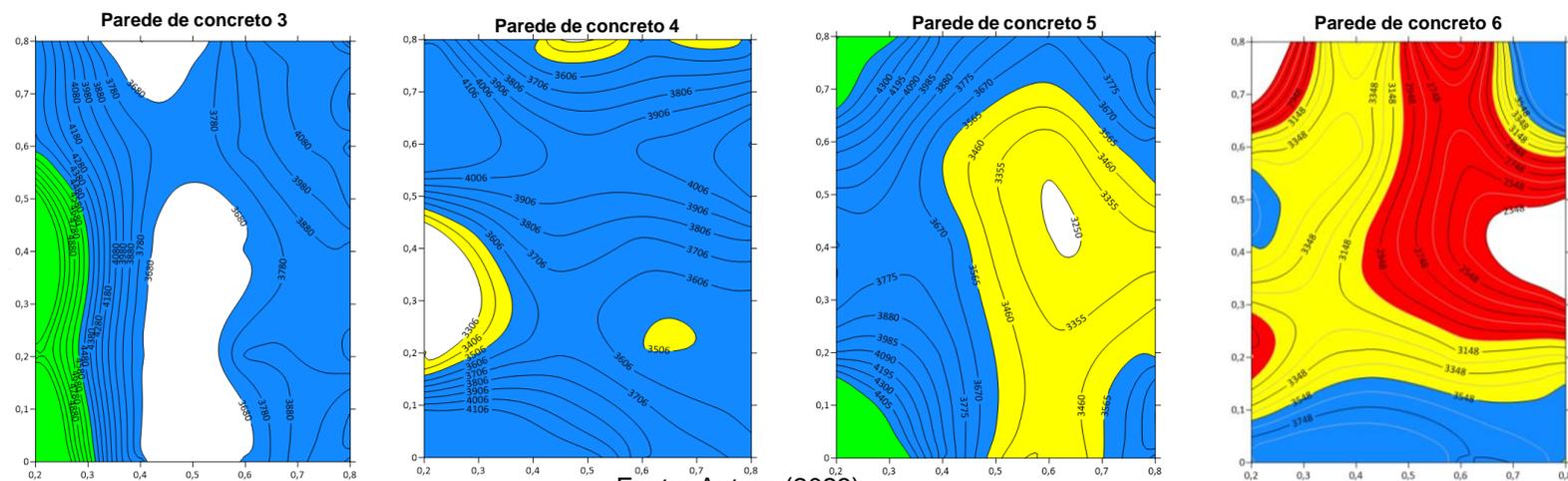
Utilizando o programa Surfer, foram gerados 8 mapas das velocidades de propagação das ondas (VPU) nas paredes de concreto autoadensável e superfluido. As figuras 51 e 52 apresentam os mapas obtidos a partir dos ensaios de ultrassom.

Figura 51 - Mapas das paredes de concreto superfluido



Fonte: Autora (2023).

Figura 52 - Mapas das paredes de concreto autoadensável



Fonte: Autora (2023).

Analisando a Figura 51, percebe-se que das 4 paredes de concreto superfluido, as paredes P7 e P8, localizadas no térreo, apresentaram valores VPU inferior a 3000 m/s, porém predominando uma zona regular.

As outras 2 paredes de concreto superfluido, que estavam localizadas no térreo (paredes P1 e P2), não apresentaram zona ruim, predominando uma zona boa na região central. Dentre as 4 paredes de concreto superfluido analisadas, nenhuma apresentou VPU excelente.

A Figura 52, representa as paredes P3, P4, P5 e P6, moldadas com concreto autoadensável. Observou-se que todas as paredes de CAA apresentaram zonas boas, em sua maioria. Dentre essas 4 paredes, as paredes P3 e P5 apresentaram zonas excelentes, o que representa poucos vazios nos pontos ensaiados, enquanto a parede 4 apresentou uma predominância de zona boa.

No conjunto das paredes de CAA, apenas a parede P6 apresentou uma zona ruim, com velocidade mínima de 2348 m/s, representando uma diferença de homogeneidade do concreto, sendo localizado próximo a uma caixa de luz. A zona boa dessa parede atingiu 3748 m/s, predominando toda a parte inferior analisada.

A tabela 14, apresenta os valores mínimos e máximos de VPU, bem como a média para cada parede de concreto.

Tabela 14 – Velocidades de pulso ultrassônico para concretos autoadensável e superfluido

| Paredes      | VPU (m/s)      |                |                |                               |
|--------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|
|              | Mínima         | Máxima         | VPU média      |                               |
| P1           | 3114           | 4158           | 3741           | <b>Concreto Superfluido</b>   |
| P2           | 3056           | 4246           | 3632           |                               |
| P7           | 2538           | 3594           | 3185           |                               |
| P8           | 2783           | 3630           | 3317           |                               |
| <b>Média</b> | <b>2872,75</b> | <b>3907</b>    | <b>3468,75</b> |                               |
| P3           | 3681           | 5249           | 4073           | <b>Concreto Autoadensável</b> |
| P4           | 3257           | 4515           | 3738           |                               |
| P5           | 2348           | 3854           | 3175           |                               |
| P6           | 3306           | 4193           | 3772           |                               |
| <b>Média</b> | <b>3148</b>    | <b>4452,75</b> | <b>3689,5</b>  |                               |

Fonte: Autora (2023).

De acordo com a tabela 14, as paredes P3, P4 e P6, de concreto autoadensável, apresentaram VPU média que classifica o concreto de boa qualidade, enquanto somente as paredes P1 e P2, de concreto superfluido, apresentaram VPU média de boa qualidade.

#### 4.5 Análise visual das paredes de concreto CAA e CSF

Para esse estudo foi realizado a verificação visual das paredes de concreto, tanto em autoadensáveis, quanto nas paredes de superfluido, com relatos fotográficos, para registros de possíveis anomalias após a cura do concreto.

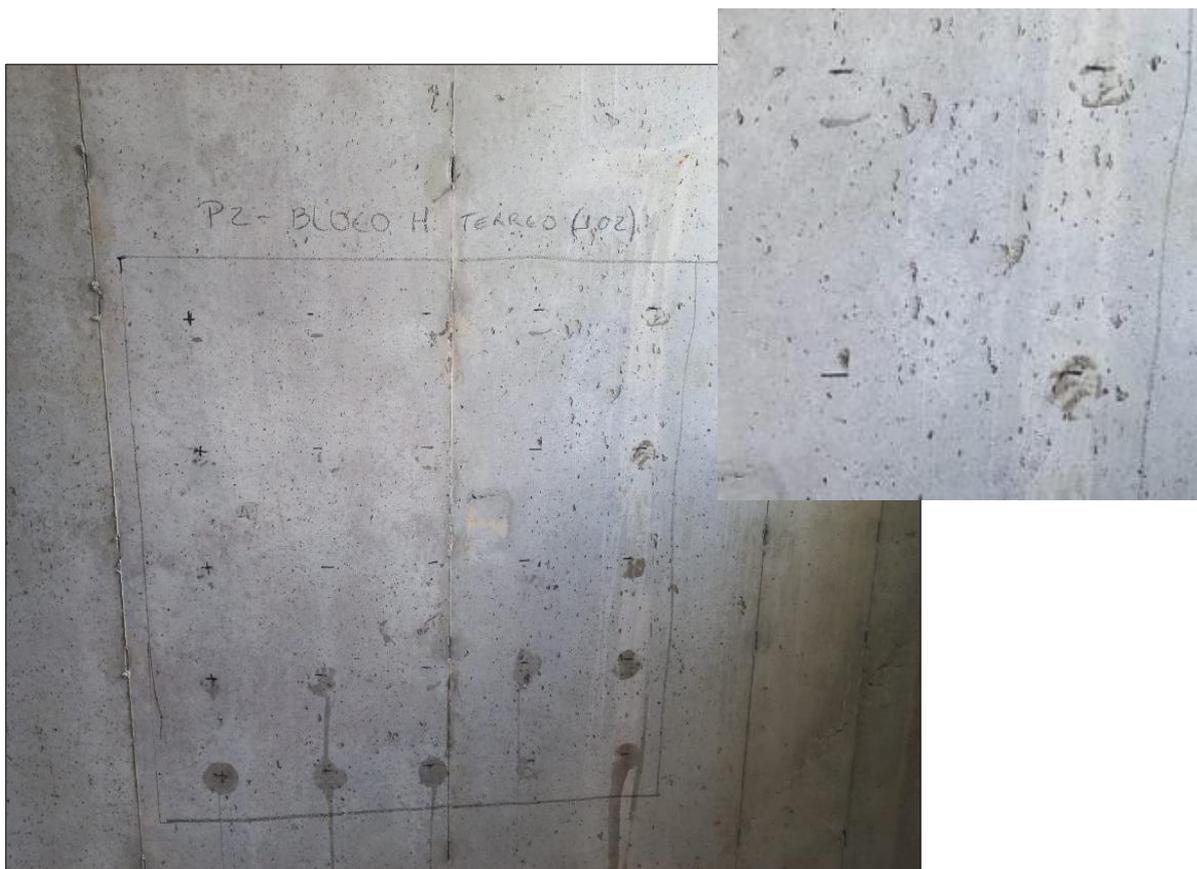
As Figuras 53 e 54 representam as paredes de concreto superfluido, P1 e P2, respectivamente, fabricadas pela Usina A.

Figura 53 - Registro fotográfico da parede P1 – concreto superfluido – Usina A.



Fonte: Autora (2023).

Figura 54 - Registro fotográfico da parede P2 - concreto superfluido – Usina A.

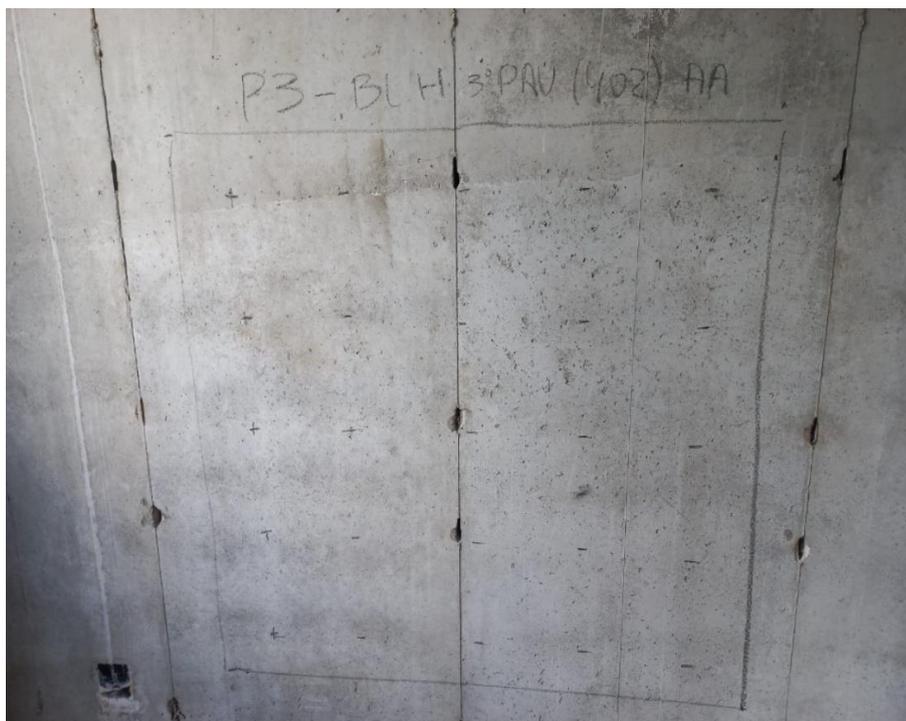


Fonte: Autora (2023).

Analisando, visualmente, as paredes de concreto superfluido, P1 e P2, é possível perceber que as paredes não são totalmente lisas, apresentando pequenos vazios na maior parte da superfície, provenientes do teor de ar aprisionado, que podem ser gerados por vários motivos: velocidade do lançamento, viscosidade do concreto, forma de lançamento e tipo do desmoldante.

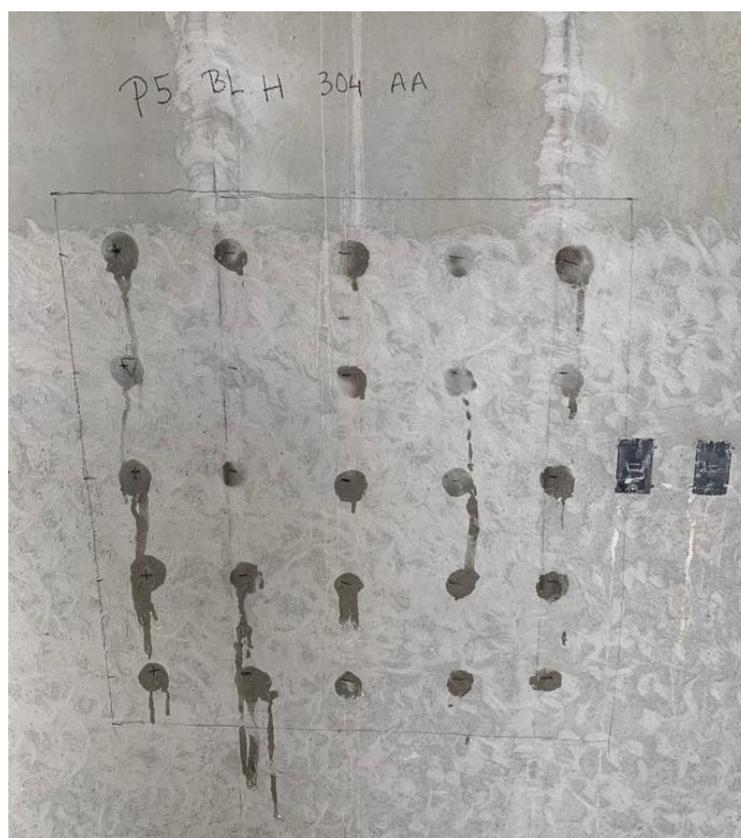
As Figuras 55, 56 e 57, apresentam os registros das paredes P3, P5 e P6, respectivamente, moldadas com concreto autoadensável.

Figura 55 - Registro fotográfico da parede P3 – concreto autoadensável – Usina A.



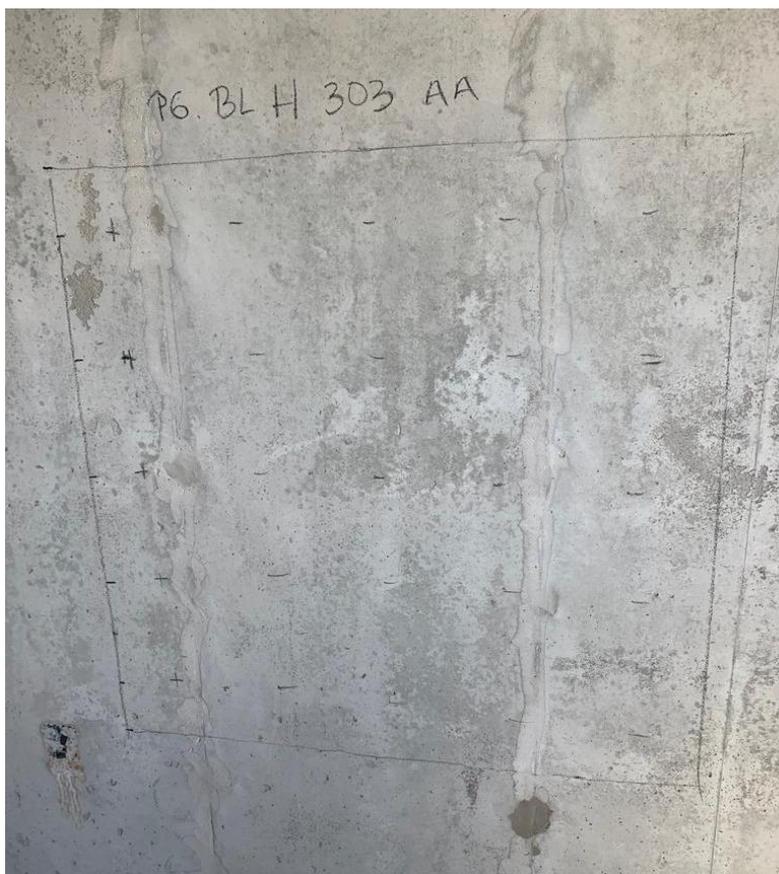
Fonte: Autora (2023).

Figura 56 – Registro fotográfico da parede P5 – concreto autoadensável – Usina A.



Fonte: Autora (2023).

Figura 57- Registro fotográfico da parede P6 – concreto autoadensável – Usina A.



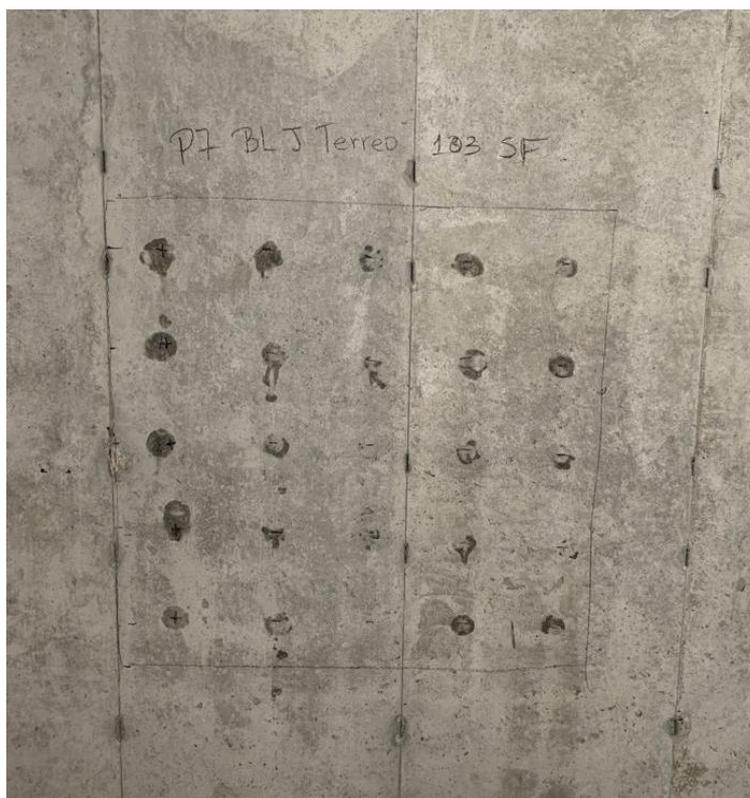
Fonte: Autora (2023).

A parede P3, apresentou uma superfície um pouco mais lisa em relação as paredes 1 e 2, mas com a presença de alguns vazios superficiais.

Ao analisar as Figuras 55, 56 e 57, observa-se que as paredes de concreto P3, P5 e P6, moldadas com concreto autoadensável, apresentam uma superfície lisa, sem a presença de irregularidades, como ocorreu nas paredes de concreto superfluido (P1, P2 e P3). Visualmente, as paredes P3, P5 e P6 não apresentaram anomalias externas, na superfície das paredes.

As Figuras 58 e 59, apresentam os registros das paredes P7 e P8, moldadas com concreto superfluido.

Figura 58 - Registro fotográfico da parede P7 – concreto superfluido – Usina A.



Fonte: Autora (2023).

Figura 59 – Registro fotográfico da parede P8 – concreto superfluido – Usina A.



Fonte: Autora (2023).

Analisando as Figuras 57 e 59, as paredes de concreto superfluido, P7 e P8, apresentaram uma superfície com vazios decorrentes do ar aprisionado, porém em menor proporção. Além disso, notou-se que as paredes apresentavam manchas. No entanto, não foi observado anomalias externas na superfície das paredes P7 e P8.

Na oportunidade, foi realizada a verificação visual de paredes moldadas com concretos autoadensável e superfluido de outra concreteira, a Usina B. Foi realizada a análise visual nas paredes de concreto, conforme as Figuras a seguir.

Figura 60 - Registro fotográfico da parede de concreto autoadensável – Usina B



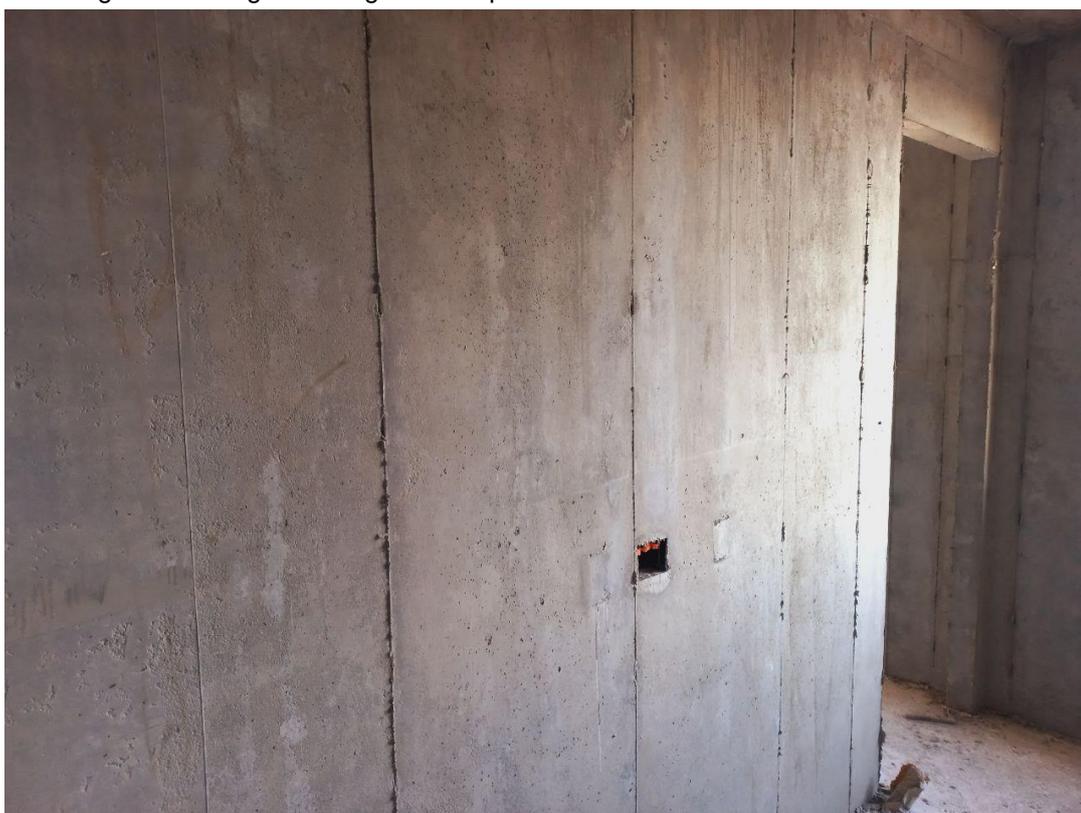
Fonte: Autora (2023).

Figura 61 - Registro fotográfico da parede de concreto autoadensável – Usina B



Fonte: Autora (2023).

Figura 62 - Registro fotográfico da parede de concreto autoadensável – Usina B



Fonte: Autora (2023).

As figuras 60, 61 e 62 representam as paredes de concreto autoadensável, produzidas pela Usina B. A partir da análise visual, notou-se a boa qualidade do acabamento superficial das paredes, além da ausência de manifestações patológicas.

As próximas Figuras, apresentarão as paredes de concreto superfluido produzidas pela Usina B.

Figura 63 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido – Usina B



Fonte: Autora (2023).

Figura 64 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com nicho de concretagem – Usina B



Fonte: Autora (2023).

Figura 65 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com nicho de concretagem – Usina B



Fonte: Autora (2023).

Figura 66 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com nicho de concretagem expondo a armadura – Usina B



Fonte: Autora (2023).

Figura 67 - Registro fotográfico da parede de concreto superfluido com falhas na concretagem – Usina B



Fonte: Autora (2023).

A partir das Figuras 63, 64, 65, 66 e 67, observou-se a presença de mal acabamento na superfície da parede, e de manifestações patológicas nas paredes de concreto superfluido.

Na Figuras 64 e 65, observou-se inconformidades nas paredes de concreto superfluido, como nichos de concretagem nas paredes de concreto superfluido. Na Figura 66, é possível ver uma pequena parte da armadura exposta, em decorrência da segregação do concreto nessa região.

A Figura 68, mostra com mais clareza a diferença entre os concretos autoadensável e superfluido, onde o concreto autoadensável apresenta um acabamento superficial com qualidade superior que no concreto superfluido.

Figura 68 - Registro fotográfico das paredes de concreto autoadensável e superfluido – Usina B



Fonte: Rafaela Fujita, (2023).

## 4.6 Análise comparativa com trabalhos da área

Nesta seção serão apresentadas comparações entre estudos semelhantes, com o objetivo de analisar a qualidade dos concretos autoadensável e superfluido, a partir da realização do ensaio de ultrassom. Ressalta-se que os estudos encontrados foram sobre ensaio de ultrassom em parede de concreto, entretanto, ainda é escassa a literatura que abranja esse assunto, principalmente tratando-se de paredes de concreto e de concreto superfluido.

### 4.6.1 Análise comparativa entre Holanda (2022) e presente estudo

Holanda (2022), realizou um estudo com o objetivo de analisar a aplicação dos ensaios de ultrassom e esclerometria em concreto autoadensável, no sistema parede de concreto. Um dos objetivos específicos foi comparar resultados das análises da qualidade dos concretos com base na velocidade do pulso ultrassônico.

A tabela 15 apresenta os valores de resistência característica dos concretos à compressão ( $f_{ck}$ ) e os valores médios da velocidade do pulso ultrassônico (VPU) das paredes de concreto autoadensável, encontrados nos estudos.

Tabela 15 – Valores obtidos nos ensaios realizados por Holanda (2022) e presente estudo.

| <b>Autor</b>          | <b>Resistência característica à compressão – <math>f_{ck}</math> projeto (MPa)</b> | <b>Ensaio de ultrassom nas paredes CAA – VPU média (m/s)</b> | <b>Ensaio de ultrassom nas paredes CSF – VPU média (m/s)</b> |
|-----------------------|--|--|--|
| Holanda (2022)        | 25   | 4049,30  | -  |
| <b>Trabalho atual</b> | 25   | <b>3689,5</b>  | <b>3468,75</b>   |

Fonte: Autora (2023).

Holanda (2022) utilizou um concreto autoadensável com resistência a compressão de 25 MPa, resultando em uma VPU média de 4049,30 m/s, o qual é considerado um concreto com qualidade boa.

Comparando o presente estudo, no qual foi utilizado um concreto autoadensável com resistência a compressão igual à que o referido autor utilizou e VPU média de 3689,5 m/s, classificando o concreto com uma boa qualidade, é

possível notar similaridade entre os estudos, pois os concretos autoadensáveis apresentam a mesma resistência e se enquadram no mesmo nível de qualidade.

O presente estudo realizou, ainda, ensaio de ultrassom com concreto superfluido, diferente de Holanda (2022), que utilizou concreto autoadensável, porém notou-se que a VPU média no concreto superfluido foi inferior à MPU média do concreto autoadensável, sendo classificado um concreto com qualidade regular, com velocidade de 3468,75 m/s.

Comparando as velocidades de pulso do concreto autoadensável de Holanda (2022) e do presente estudo, com as velocidades de pulso do concreto superfluido, percebe-se que o pulso gerado pelo ultrassom atravessa o concreto autoadensável em um tempo menor que no superfluido.

Dessa forma, pode-se concluir que os as propriedades de caracterização do concreto autoadensável, como viscosidade plástica e habilidade passante podem influenciar na homogeneidade do concreto.

#### 4.6.2 Análise comparativa entre Ferreira (2019) e presente estudo

Ferreira (2019), realizou um estudo para avaliar a influência da incorporação de ar no comportamento de concretos autoadensáveis, com classes de resistência C25 e C40. Para isso, foram moldadas paredes de CAA, com o objetivo analisar a estrutura interna do material com aparelho de ultrassom e o acabamento superficial por meio de análise de imagens.

Os resultados obtidos por Ferreira (2019), para o concreto C25, serão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores obtidos nos ensaios realizados por Holanda (2022) e presente estudo.

| <b>Autor</b>          | <b>Resistência característica à compressão – fck projeto (MPa)</b> | <b>Ensaio de ultrassom no CAA – VPU média (m/s)</b> | <b>Ensaio de ultrassom no CSF – VPU média (m/s)</b> |
|-----------------------|--|---|---|
| Ferreira (2022)       | 25   | 4477,3  | -   |
| <b>Trabalho atual</b> | 25   | <b>3689,5</b>                                       | <b>3468,75</b>                                      |

Fonte: Autora (2023).

No estudo realizado por Ferreira (2019), a incorporação de ar nos traços de concreto autoadensável resultou na queda da resistência à compressão aos 28 dias, entretanto o traço C25 de referência apresentou características e propriedades adequadas para paredes de concreto moldadas in loco. Devido à baixa resistência dos traços de concreto C25 com ar incorporado, o referido autor optou por não construir parede para esse concreto, e analisou somente os corpos de prova com o traço C25 de referência.

De acordo com Ferreira (2019), quanto à qualidade, o concreto autoadensável de referência foi considerado de boa qualidade, visto que a VPU obtida foi sempre superior a 3658 m/s.

Realizando a comparação do presente estudo com os resultados obtidos por Ferreira (2019), nota-se que o concreto autoadensável tende a ser caracterizado com boa qualidade, considerando que as paredes 3 e 4 deste estudo apresentaram velocidades que indicam excelente qualidade.

No estudo de Ferreira (2019), não foi realizada a análise do acabamento superficial da parede para o concreto C25. Porém com os resultados obtidos do concreto C40, o autor percebeu que o acabamento superficial não necessariamente reflete a qualidade da estrutura interna.

No presente estudo, as paredes de concreto superfluido apresentaram algumas manifestações patológicas, enquanto as paredes de concreto autoadensável tinham um acabamento superficial melhor.

#### **4.7 Análise de Resultados e Discussões**

Através da realização da validação dos traços dos concretos CAA e CSF na obra foi perceptível a importância dessa etapa, pois para o concreto superfluido não existem parâmetros normativos para a validação do traço. Entretanto, para o concreto autoadensável, existem normas para a validação do traço, e a dosagem realizada na usina precisa ser validada em campo. Dessa forma, é possível ter um concreto que atenda aos parâmetros normativos.

Durantes as visitas à obra, observou-se que, geralmente, a concretagem era realizada no período da tarde, seguindo pela noite e apresenta alguns desafios por conta do horário, além de ser uma etapa onde necessita de profissionais treinados para entenderem o processo da concretagem, para que haja produtividade e qualidade. O treinamento nesse processo é fundamental para que o profissional realize a concretagem com qualidade, como, por exemplo, saber que para o concreto desça nas formas de maneira uniforme, é necessário que o mangote de lançamento do concreto esteja deitado e não seja colocado diretamente nas fôrmas das paredes.

A sequência do trabalho se deu com a realização da análise visual, onde foi possível verificar a qualidade do acabamento superficial da parede de concreto autoadensável, em comparação ao acabamento da parede moldada com concreto superfluido.

Apesar de o concreto superfluido ter uma fluidez considerável, no momento da moldagem das fôrmas, o ar fica aprisionado acarretando a criação de vazios, falhas no acabamento e manifestações patológicas, como nichos de concretagem. Com a finalidade de evitar problemas futuros, a correção desses fatores tende a gerar custos que não estavam no planejamento da empresa, já que se tende a usar o concreto superfluido por ser considerado mais barato quando comparado com o autoadensável.

Em relação às análises de ultrassom, percebeu-se que o concreto autoadensável possui qualidade superior em comparação ao concreto superfluido, devido tanto ao comportamento favorável quanto nos ensaios de ultrassom, quanto na análise visual.

Nos estudos realizados por Holanda (2022) e Ferreira (2019), foi possível observar o comportamento do concreto autoadensável em relação às regiões onde o concreto foi fabricado. O concreto do estudo de Holanda (2022), foi produzido na Região da Grande Fortaleza, a qual é a mesma região do presente estudo, e apesar de similares na qualidade do concreto, apresentou uma velocidade média maior que a velocidade do presente estudo.

Entretanto, o concreto de Ferreira (2019) foi produzido na Região de São Paulo, onde certamente, há facilidade de produzir concreto com agregados mais finos,

como por exemplo o Fíler Calcário, que contribui para a redução de vazios no concreto autoadensável, devido a qualidade dos agregados finos.

Na tabela 17, é possível ver a diferença das velocidades de pulso ultrassônico entre os três estudos. Nota-se que o material de Ferreira (2019) atingiu um nível de qualidade média muito próximo a 4500 m/s, que é um concreto de qualidade excelente, enquanto os concretos produzidos na região de Fortaleza atingiram uma qualidade boa, embora tenham velocidades distantes. Dessa forma, observa-se que é importante um acompanhamento na produção do concreto, realizando ajustes necessários durante todo o período da obra, para que a qualidade do concreto seja mantida

Tabela 17 – Valores obtidos nos ensaios realizados por Holanda (2022), Ferreira (2019) e presente estudo.

| <b>Autor</b>          | <b>Resistência característica à compressão – fck projeto (MPa)</b> | <b>Ensaio de ultrassom no CAA – VPU média (m/s)</b> | <b>Ensaio de ultrassom no CSF – VPU média (m/s)</b> |
|-----------------------|--|---|---|
| Holanda (2022)        | 25   | 4049,30   | -   |
| Ferreira (2022)       | 25   | 4477,3  | -   |
| <b>Trabalho atual</b> | 25   | <b>3689,5</b>                                       | <b>3468,75</b>                                      |

Fonte: Autora (2023).

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou os resultados de um estudo de caso, que envolveu a aplicação do concreto autoadensável e do concreto superfluido no sistema parede de concreto, desenvolvido para construções habitacionais.

A partir dos resultados do ensaio de ultrassom, analisando a qualidade da estrutura interna dos concretos, observou-se que todas as paredes de concreto superfluido apresentaram velocidade de pulso ultrassônico que classifica o concreto como de qualidade regular, sendo que, dentre essas paredes, duas apresentaram pontos com qualidade ruim.

Os resultados do ensaio de ultrassom para as paredes de concreto autoadensável apresentaram um resultado superior, predominando um concreto com qualidade boa, sendo que duas dessas paredes atingiram um concreto com qualidade excelente, visto que a velocidade do pulso ultrassônico atingiu 5249 m/s.

Em termos de acabamento superficial, as paredes de concreto autoadensável apresentaram bons resultados, enquanto as paredes de concreto superfluido apresentaram um acabamento superficial com qualidade inferior. Realizando a análise visual, foi possível verificar que as paredes de concreto superfluido apresentavam fragilidades no acabamento superficial, como descascamento, pequenos vazios nas superfícies das paredes, além de apresentarem manchas

Observou-se, ainda, nas paredes de concreto superfluido, a presença de manifestações patológicas, como nichos de concretagem, onde será preciso realizar o grauteamento nessas paredes, o que pode acarretar um custo a mais para o sistema parede de concreto.

De maneira geral, dentro das análises realizadas, o presente trabalho apresentou resultados satisfatórios, embora seja um estudo inicial, sendo possível constatar que o concreto autoadensável apresentou boa qualidade, portanto, é o mais adequado para ser utilizado no sistema parede de concreto, visando a durabilidade das estruturas.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se:

- Realizar estudo com amostragem maior de ensaios nas paredes de autoadensável e superfluido, para que seja verificada a qualidade dos dois concretos.
- A realização de estudos sobre o concreto autoadensável e superfluido em paredes de concreto, uma vez que o assunto ainda é escasso na literatura, porém vem ganhando importância devido ao aumento de construções de habitações populares no sistema parede de concreto.

## REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland; ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem; IBTS – Instituto Brasileira de Telas Soldadas. **Comunidade da Construção**. Parede de Concreto – Coletânea de Ativos. São Paulo, SP, 2007/2008. Disponível em: <<https://abcp.org.br/coletanea-de-ativos-em-paredes-de-concreto-2007-2008/>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland; ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem; IBTS – Instituto Brasileira de Telas Soldadas. **Comunidade da Construção**. Parede de Concreto – Coletânea de Ativos. São Paulo, SP, 2011/2013. Disponível em: <<https://abcp.org.br/coletanea-de-ativos-em-paredes-de-concreto-2011-2013/>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

ALENCAR, Ricardo dos Santos Arnaldo de. **Dosagem do concreto autoadensável: Produção de pré-fabricados**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ALVES, Nielsen. **Cuidados na estanqueidade de fachadas e execução de revestimentos internos em edificações executadas em paredes de concreto**. Sinduscon-Goiânia, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Concreto dosado em central — Preparo, fornecimento e controle. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1**: Concreto autoadensável: parte 1: classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-3**: Concreto autoadensável: parte 3: determinação da habilidade passante: método do anel J. Rio de Janeiro, 2017c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4**: Determinação da habilidade passante - Métodos da caixa *L* e da caixa *U*. Rio de Janeiro, 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-5**: Concreto autoadensável: parte 5: determinação da viscosidade: método do funil V. Rio de Janeiro, 2017d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-6: Determinação da resistência à segregação - Métodos da coluna de segregação e da peneira**

BARREIROS, T. S., SOUZA, J. C. S. de, MITIDIARI FILHO, C. V. **Sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local: aspectos de controle da execução**. Revista Concreto e Construções, ano XLI, 70, abril-junho 2013, Ibracon, 2013. Disponível em: <[http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_70.pdf](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_70.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BERTOLINI, Sonia Maria Marques Gomes. **Pesquisa científica: Do planejamento à divulgação**. Brasil, Paco e Littera, 2016.

BONDUKI, Nabil Georges. Metodologias de avaliação do déficit habitacional: avaliação crítica e perspectivas. **Ensaio e discussões sobre o déficit habitacional no Brasil**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, 2022. Disponível em: <[https://drive.google.com/file/d/1stJWtC0dMFtK\\_Zz0G0zFBjDgw2WxjL\\_i/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1stJWtC0dMFtK_Zz0G0zFBjDgw2WxjL_i/view?usp=share_link)>. Acesso em: 23 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Dados revisados do déficit habitacional e inadequação de moradias nortearão políticas públicas**. Brasília: Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/dados-revisados-do-deficit-habitacional-e-inadeguacao-de-moradias-nortearao-politicas-publicas#:~:text=De%20acordo%20com%20os%20dados,5%2C8%20milh%C3%B5es%20de%20moradias.>>>. Acesso em: 23 fev. 2023.

CHIES, Josué Argenta. **Ensaio não destrutivo em concreto: detecção das falhas no interior de estruturas de concreto com o uso de ultrassom**. 2014. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127927/000973959.pdf?sequence=1>. Acesso em 20 out. 2023.

CORRÊA, Julio Marcelino. **Considerações Sobre Projeto e Execução de Edifícios em Paredes de Concreto Moldados In Loco**. 2012. 75. TCC – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

COSTA, Ada Catarina Soares de Sena; CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. Estudo comparativo entre o concreto autoadensável e o concreto convencional vibrado em obra vertical. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 289–301, out. 2019. Disponível: <<https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000400356>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. **Projeto de pesquisa - 2.ed.: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. N.p., Penso Editora, 2021.

FERREIRA, Fernando Mellin Moreira. **Influência da incorporação de ar em concreto autoadensável para paredes de concreto moldadas no local**. 2019. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil (Estruturas)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-24062019-095210/publico/ME2019\\_FernandoMellinMoreiraFerreira.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-24062019-095210/publico/ME2019_FernandoMellinMoreiraFerreira.pdf). Acesso em: 28 nov. 2023.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Combate ao déficit habitacional pode gerar 3,2 milhões postos de trabalho no país**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<https://firjan.com.br/noticias-1/combate-ao-deficit-habitacional-pode-gerar-3-2-milhoes-postos-de-trabalho-no-pais-1.htm>>. Acesso em: 27 fev. 2023.

IBRACON. **Concreto para Paredes de Concreto: Superfluidos x Autoadensável**. YouTube, 24 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ltV8hZWPhU8>>. Acesso em: 28 fev. 2023

CRUZ, Maycon Esteves da; DE MARCO, Gerson ; FLORIAN, Fabiana. Estudo comparativo entre alvenaria e parede de concreto: vantagens e desvantagens. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. e3102108, 2022. Disponível em: <<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/2108>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre. Editora da UFRGS, 2009.

HOLANDA, Isaque Samuel Pereira. **Estudo comparativo dos ensaios de esclerometria e velocidade de pulso ultrassônico em parede de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário Christus – Unichristus, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1551/1/Isaque%20Samuel%20Pereira%20Holanda.pdf>>. Acesso em: 28 out 2023.

LEONEL, Fábio de Melo; RESENDE, Carlos J. de; MELO, Carlos Eduardo S. de; FRANÇA, Fabrício Carlos; ABREU; José Vanderlei de; MULLER, Rodrigo Menegaz. Desenvolvimento e controle tecnológico do concreto autoadensável para produção de aduelas pré-moldadas para torres eólicas. **Revista Concreto & Construções**. v. 90, 2018. Disponível em: <[https://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/pdfs/revista90.pdf](https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista90.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2023.

LIMA. José Roberto Pereira de; COSTA, Cláudio Pires. Três sistemas construtivos em empreendimento residencial econômico. **Revista Concreto & Construções**. v. 90, 2018. Disponível em: <[https://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/pdfs/revista90.pdf](https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista90.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2023.

LISBOA, Ederval S.; ALVES, Edir S.; MELO, Gustavo H. A G. **Materiais de construção: concreto e argamassa**. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2017. E-

book. ISBN 9788595020139. Disponível em:  
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020139>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

MOREIRA, Fernanda Silva. **ABNT NBR 15.575/2013: um estudo sobre os impactos da norma de desempenho na cadeia produtiva da construção civil.** 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Unichristus. Fortaleza, 2020. Disponível em:  
<<https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/handle/123456789/1052>>. Acesso em: 08 mar. 2023.

MACEDO, José Vitor da Silva; ROMEIRO, Marcelo Lucena de Albuquerque; DELMIRO, Thayse Dayse; MONTEIRO, Eliana Cristina Barreto; CARDOSO, Ariane da Silva. **Manifestações patológicas e falhas construtivas em paredes de concreto.** Disponível em: <<https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80544.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2023

MAGALHÃES, Ana Carolina Rodrigues. **Análise da utilização do concreto auto adensável em paredes de concreto: um estudo de caso em uma obra residencial.** 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Unichristus. Fortaleza, 2021. Disponível em:  
<<https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/handle/123456789/1124>>. Acesso em: 08 mar. 2023.

MESOMO, Macos Feronatto ; **Manifestações patológicas em unidades habitacionais construídas com Paredes de Concreto moldadas *in loco* com fôrmas metálicas: análise das falhas observadas na etapa de execução.** Disponível em:  
<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/184713/001079379.pdf?sequenc e=1>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

MORAIS, Gabriela Miranda de. **Planejamento da Execução de Paredes de Concreto Armado: Um Estudo de Caso.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás. Goiás, 2017. Disponível em:<[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/PLANEJAMENTO\\_DA\\_EXECUÇÃO\\_DE\\_PAREDES\\_DE\\_CONCRETO\\_ARMADO - UM ESTUDO DE CASO.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/PLANEJAMENTO_DA_EXECUÇÃO_DE_PAREDES_DE_CONCRETO_ARMADO_-_UM_ESTUDO_DE_CASO.pdf)>. Acesso em 20 mai. 2023

NAKAMURA, Juliana. **Vazios de concretagem põem em risco desempenho de estruturas de concreto armado.** Disponível em:  
<<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/vazios-de-concretagem-poem-em-risco-desempenho-de-estruturas-de-concreto-armado/14605>>. Acesso em 18 mai 2023.

NEVILLE, A M. **Propriedades do concreto.** [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2016. E-book. ISBN 9788582603666. Disponível em:  
<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582603666/>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

**NÚCLEO PAREDE DE CONCRETO. Sustentabilidade do Sistema Parede de Concreto.** 2023. Disponível em:  
<<https://nucleoparededeconcreto.com.br/sustentabilidade-do-sistema-parede-de-concreto/>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

OLIVEIRA, Mateus Pereira de; FERREIRA, Leticia Maria Costa; VITALINO, Ewerton de Souza; SOARES, Renan Gustavo Pacheco; OLIVEIRA, Romilde Almeida de; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira. Análise das manifestações patológicas em sistemas estruturais do tipo parede de concreto no agreste de Pernambuco. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES, 4., 2020, Fortaleza. **Anais** [...] Fortaleza: ALCONPAT Brasil, 2020. Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.217>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

PRODANOV, Cleber Cristiano. FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** 2ª Ed.. Novo Hamburgo, Editora Feevale, 2013.

RODRIGUES NETO, Carlos Fonseca. **Análise das propriedades do concreto reforçado com macrofibras de vidro em relação ao concreto convencional.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Unichristus. Fortaleza, 2022. Disponível em:  
<<https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1369/1/Carlos%20Fonseca%20Rodrigues%20Neto.pdf>>. Acesso em 16 mar. 2023.

SIENGE. **Parede de concreto: vantagens e características.** Disponível em:  
<<https://www.sienge.com.br/blog/parede-de-concreto/>>. Acesso em 28 fev. 2023.

SGOBBI, Vinicius Gabriel; MIRANDA, Lucas Rodrigo. Um estudo sobre o método construtivo paredes de concreto moldadas *in loco* - sua execução, vantagens e desvantagens. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, 1(1), e210915. Disponível em:  
<<https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/915/705>>. Acesso em : 03 mar. 2023.

SOEIRO, Joaquim Martins; COSTA, Sarah Silva; SILVA, Adriano de Paula e; CHARUD, Eduardo. **Ensaio não destrutivo – Ensaio de ultrassom e pacômetro na avaliação da qualidade do concreto armado.** Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia - CONTECC'2018. Maceió, 2018. Disponível em:  
<[https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/civil/107\\_endeduep.pdf](https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/civil/107_endeduep.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2023.

SILVA (2021). Concreto Autoadensável: principais características. **Projeto Construção Mais.** Disponível em:  
<<https://www.projetoconstrucaomais.org/post/concreto-autoadens%C3%A1vel-principais-caracter%C3%ADsticas>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

SOUSA, Ateilson Fernando de; BADARÓ, Wendell Alves. **Estudo das manifestações patológicas causadas por falhas operacionais em parede de concreto moldada in loco.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Disponível em:

<[https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1046/3/TCC\\_Wendell%20e%20Ateílson.pdf](https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1046/3/TCC_Wendell%20e%20Ateílson.pdf)>. Acesso em: 24 mai 2023.

SOUZA, Girlene Santos de; SANTOS, Anacleto Ranulfo dos; DIAS Viviane Borges. **Metodologia da pesquisa científica: a construção do conhecimento e do pensamento científico no processo de aprendizagem**. Editora Animal, 2013.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª.ed. São Paulo: Pini Ltda, 2009. 257 p

TAKATA, Leandro Teixeira. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em concreto armado: estudo de caso**. 2009. 152f. Dissertação de Mestrado em Construção Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11309/000611153.pdf?sequence>>. Acesso em 28 fev 2023.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; DAL MOLIN, Denise Carpena. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: Pini, 2008.

WENDLER, Arnaldo; MONGE, Rubens. Paredes de concreto - como ter uma obra sem manifestações patológicas. **Revista Concreto & Construções**. v. 90, 2018. Disponível em:

<[https://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/pdfs/revista90.pdf](https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista90.pdf)>. Acesso em 28 fev. 2023.

YIN, K. Roberto. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

## **APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA, APLICADO EM CONSTRUTORA LOCALIZADA EM CAUCAIA-CEARÁ**

O questionário elaborado busca reunir dados para a realização de uma pesquisa, que pretende analisar o comparativo entre o uso do concreto autoadensável (CAA) e do concreto superfluido (CSF) no sistema parede de concreto. As informações relativas à empresa e aos entrevistados serão preservadas em sigilo.

### **Parte I – Caracterização da empresa**

1. Há quanto tempo a construtora atua no mercado?

---

2. Quantas obras e quais tipos de obra a construtora já executou?

---

3. A empresa participa ou já participou de algum programa de melhoria (ex. ISO 9001, PBQPH)? Se sim, quais?

---

4. A empresa possui algum tipo de certificação? Se sim, quais?

---

### **Parte II - Concretos CAA e CSF**

1. Qual tipo de concreto a construtora adota nas construções?

---

2. A construtora realiza ensaios de caracterização do concreto? Se sim, quais os tipos de ensaios de caracterização que a empresa realiza?

---

3. A empresa faz o acompanhamento da validação dos traços do CAA e do CSF?

---

4. A construtora realiza controle tecnológico do concreto nas obras (mensal ou rompimentos pontuais)? Quais as propriedades do concreto analisadas (abatimento - *slump test*, resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade etc.)?
- 

5. É realizada a verificação visual da qualidade da estrutura após a execução?
- 

6. A construtora verifica diferença entre os custos do CAA e do CSF? Em caso afirmativo, justificar.
-