

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA  
PARAÍBA  
CAMPUS PATOS  
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**EWERTON FERNANDES MONTEIRO  
MARIA DANIELLY SOARES DA NÓBREGA FERREIRA**

**SISTEMA DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM GESTÃO  
DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

**PATOS - PB  
2026**

**EWERTON FERNANDES MONTEIRO**  
**MARIA DANIELLY SOARES DA NÓBREGA FERREIRA**

**SISTEMA DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM GESTÃO  
DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba  
– *Campus* Patos, como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientador (a):** Prof. Me. Valteson da Silva  
Santos

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CAMPUS PATOS/IFPB

M775s Monteiro, Ewerton Fernandes.

Sistema de controle tecnológico do concreto com gestão de corpos de prova e ensaios de resistência à compressão / Ewerton Fernandes Monteiro, Maria Danielly Soares da Nóbrega Ferreira. - Patos, 2026.

70 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil)-Instituto Federal da Paraíba, Campus Patos-PB, 2026.

Orientador(a): Prof. Me. Valteson da Silva Santos.

1. Tecnologia do concreto-Automação 2. Controle tecnológico do concreto 3. Tecnologia das construções - Softwares I. Título II. Ferreira, Maria Danielly Soares da Nóbrega III. Santos, Valteson da Silva IV. Instituto Federal da Paraíba.

CDU –331.4

Ficha catalográfica elaborada por Lucikelly Oliveira CRB 15/574

**EWERTON FERNANDES MONTEIRO**  
**MARIA DANIELLY SOARES DA NÓBREGA FERREIRA**

**SISTEMA DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM GESTÃO  
DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba  
– *Campus* Patos, como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro Civil.

APROVADO EM: 22/06/2026

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Valteson da Silva Santos - Orientador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

---

Profa. Ma. Mariana Sousa da Paixão - Examinadora  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

---

Prof. Dr. José Herculano Filho - Examinador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Dedicamos aos nossos pais que fizeram de tudo para que hoje possamos estar aqui, e a todas as pessoas que nos acompanharam nessa jornada e nos apoiaram.

*Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes.*

***Martin Luther King***

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, fonte de força, sabedoria e perseverança, por iluminar meus caminhos, sustentar minha fé nos momentos difíceis e permitir que eu alcançasse mais esta importante conquista em minha vida.

De maneira muito especial, agradeço à minha esposa, Glauciane Maria, meu porto seguro e minha maior incentivadora. Obrigado por todo o amor, carinho, compreensão, paciência e apoio incondicional ao longo desta caminhada. Sua presença constante, suas palavras de incentivo e sua confiança em mim foram fundamentais para que eu superasse os desafios e chegasse até aqui. Esta conquista também é sua, pois você esteve ao meu lado em cada etapa desta jornada. Sou imensamente grato pelo privilégio de compartilhar a vida com uma pessoa tão especial e admirável.

Aos meus pais, Francisco de Assis ( In memoriam) e Clenis Maria, por todo o amor, esforço e dedicação ao longo da minha vida. Obrigado pelos ensinamentos, pelos valores transmitidos e por sempre acreditarem no meu potencial. Aos meus irmãos, Edson e Michelly, pelo apoio, incentivo e companheirismo durante esta trajetória.

Aos amigos e colegas que tive a felicidade de conhecer durante o curso, agradeço pelos momentos de convivência, pelas experiências compartilhadas e pelo apoio mútuo que tornaram esta caminhada mais leve e enriquecedora. Em especial, aos meus amigos Terto, Janilson, Davi, João Victor, Anderson, Alan Queiroz e Allan Vitor, que fizeram parte desta jornada e contribuíram com amizade, incentivo e companheirismo.

À minha dupla, Maria Danielly, pela parceria, dedicação e colaboração na realização deste trabalho, compartilhando desafios, aprendizados e conquistas ao longo deste processo.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional, agradeço pelos conhecimentos transmitidos, pela dedicação ao ensino e pelo compromisso em formar profissionais capacitados e comprometidos com a sociedade.

Ao nosso orientador, Prof. Me. Valteson da Silva Santos, pela confiança, disponibilidade, paciência e comprometimento na orientação deste trabalho. Seus ensinamentos, orientações e incentivos foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa e para o meu crescimento acadêmico.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste sonho. Esta conquista representa o resultado de muito esforço, dedicação e perseverança, mas também do apoio e da confiança de pessoas que foram essenciais ao longo dessa caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Eu, Maria Danielly, agradeço em primeiro lugar a Deus, por me fortalecer e me fazer chegar até aqui.

Ao meu pai Damião e ao meu irmão Daniel, pelo apoio e cuidado, e em especial a minha mãe, Alexsandra, por todo amor, dedicação e incentivo a minha educação, por me tornar quem sou hoje e por sempre estar ao meu lado independente de tudo. Obrigada por ser essa pessoa incrível que eu tanto admiro e tenho o privilégio de chamar de mãe e amiga.

A minha Normanda Vitória, por todo amor, carinho e cuidado, por me compreender e me incentivar em todos os momentos, por acreditar em mim mesmo quando eu duvidei, e por estar sempre ao meu lado me fazendo sorrir, tornando essa trajetória muito mais leve.

Aos meus colegas e amigos feitos ao longo do curso que tornaram essa jornada mais leve e cheia de aprendizados, vocês têm um lugar especial no meu coração. Em especial aos meus amigos Terto e Pedro Henrique por todos os momentos compartilhados durante essa trajetória.

A minha dupla, Ewerton, que fez parte da realização deste trabalho, compartilhando aprendizados e conquistas.

A todos os professores que me guiaram até aqui e tanto contribuíram para minha formação acadêmica com seus ensinamentos.

Ao nosso orientador, Prof. Me. Valteson da Silva Santos, pela disposição e dedicação em orientar esse trabalho, pela confiança e pelos ensinamentos em sala de aula.

## RESUMO

O controle tecnológico do concreto desempenha papel fundamental na garantia da qualidade, segurança e durabilidade das estruturas de concreto. Entretanto, muitos laboratórios e obras ainda utilizam métodos manuais e planilhas dispersas para o gerenciamento de corpos de prova e ensaios de resistência à compressão, o que pode comprometer a rastreabilidade, a organização das informações e a confiabilidade dos resultados. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema digital para gestão de corpos de prova de concreto e ensaios de resistência à compressão, visando automatizar registros, otimizar processos e fortalecer o controle tecnológico do concreto. A pesquisa caracterizou-se como aplicada, de abordagem qualitativa e exploratória, sendo realizada por meio do levantamento dos processos existentes, identificação de limitações dos métodos tradicionais, definição de requisitos funcionais e desenvolvimento de uma aplicação *web* utilizando as plataformas *Lovable* e *Supabase*. Os resultados demonstraram que o sistema desenvolvido possibilitou a centralização das informações, o gerenciamento de obras, lotes e corpos de prova, o controle automatizado dos ensaios, a emissão de relatórios técnicos, a rastreabilidade das informações e a implementação de mecanismos de auditoria e segurança dos dados. Além disso, observou-se potencial para redução de erros operacionais, melhoria da organização documental e maior eficiência na gestão laboratorial. Conclui-se que a solução proposta apresentou viabilidade técnica e funcional, contribuindo para a modernização do controle tecnológico do concreto e para o fortalecimento da qualidade dos processos relacionados aos ensaios e à gestão de informações.

**Palavras-chave:** automação; controle tecnológico do concreto; qualidade dos dados; rastreabilidade; sistema de gestão.

## ABSTRACT

Quality concrete control is fundamental to role in ensuring the quality, safety, and durability of concrete structures. However, many laboratories and construction sites still rely on manual methods and scattered spreadsheets to manage test specimens and compressive strength tests. This can compromise traceability and the organization of information, as well the reliability of results. The study aimed to develop a digital system for managing concrete test specimens and compressive strength tests, aiming to automate records, optimize processes, and strengthen the technological control of concrete. The research was characterized as applied, with a qualitative and exploratory approach, and was conducted through a survey of existing processes, identification of limitations in traditional methods, definition of functional requirements, and development of a web application using the Lovable and Supabase platforms. The results demonstrated that the developed system enabled the centralization of information, the management of construction sites, batches, and test specimens, the automated control of tests, the issuance of technical reports, the traceability of information, and the implementation of data audit and security mechanisms. In addition, potential was observed for reducing operational errors, improving document organization, and increasing efficiency in laboratory management. It is concluded that the proposed solution demonstrated technical and functional feasibility, contributing to the modernization of concrete quality control and enhancing quality of processes related to testing and information management.

**Keywords:** automation; concrete quality control; data quality; traceability; management system.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Fluxograma do Sistema desenvolvido.....                               | 42 |
| Figura 2 - Tela de cadastro de lote de concreto do sistema desenvolvido.....     | 55 |
| Figura 3 - Cadastro dos corpos de prova.....                                     | 56 |
| Figura 4 - Fluxo operacional do sistema de controle tecnológico do concreto..... | 58 |
| Figura 5 - Processo de geração de relatórios técnicos.....                       | 63 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Estrutura funcional dos módulos do sistema desenvolvido..... | 59 |
| Tabela 2 - Funcionalidades por módulo do sistema.....                   | 60 |
| Tabela 3 - Níveis de acesso e permissões dos usuários.....              | 62 |
| Tabela 4 - Dados técnicos controlados pelo sistema.....                 | 64 |

## LISTA DE SIGLAS

|            |                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------|
| ABNT       | Associação Brasileira de Normas Técnicas               |
| APIs       | <i>Application Programming Interface</i>               |
| CIDESP     | Congresso Internacional de Desempenho do Setor Público |
| CP         | Corpo de Prova                                         |
| CV         | Coeficiente de Variação                                |
| ERP        | <i>Enterprise Resource Planning</i>                    |
| FCK        | <i>Feature Compression Strength of Concrete</i>        |
| ICP-BRASIL | Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira           |
| ISO        | <i>International Organization for Standardization</i>  |
| LIMS       | <i>Laboratory Information Management Systems</i>       |
| MPa        | Megapascal                                             |
| NBR        | Norma Brasileira                                       |
| PCT        | Plano de Controle Tecnológico                          |
| PDF        | <i>Portable Document Format</i>                        |
| PRD        | <i>Product Requirements Document</i>                   |
| QR CODE    | <i>Quick Response Code</i>                             |
| RFID       | <i>Radio-Frequency Identification</i>                  |
| RLS        | <i>Row Level Security</i>                              |
| SHA-256    | <i>Secure Hash Algorithm 256-bit</i>                   |

## SUMÁRIO

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                                                            | <b>16</b> |
| 1.1 OBJETIVOS.....                                                                                  | 18        |
| 1.1.1 Geral.....                                                                                    | 18        |
| 1.1.2 Específicos.....                                                                              | 18        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                                                                 | <b>19</b> |
| 2.1 A QUALIDADE DO CONCRETO E O CONTROLE TECNOLÓGICO.....                                           | 19        |
| 2.2 CONCEITO E IMPORTÂNCIA DOS CORPOS DE PROVA.....                                                 | 21        |
| 2.3 CONTROLE E RASTREABILIDADE DE AMOSTRAS.....                                                     | 23        |
| 2.3.1 Dificuldades e limitações dos métodos tradicionais no controle manual de corpos de prova..... | 25        |
| 2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO APLICADOS À GESTÃO LABORATORIAL.....                                     | 26        |
| 2.4.1 Evolução dos métodos manuais para digitais.....                                               | 28        |
| 2.4.2 Benefícios dos sistemas de informação na gestão laboratorial.....                             | 28        |
| 2.4.3 Desafios na implementação de sistema de informação laboratorial.....                          | 29        |
| 2.5 SISTEMAS DE GESTÃO E CONTROLE DE CORPOS DE PROVA.....                                           | 30        |
| 2.5.1 Software de controle e gestão de corpos de prova.....                                         | 31        |
| 2.5.2 Requisitos e funcionalidades de um sistema de gestão de corpos de prova.....                  | 33        |
| 2.6 AUTOMAÇÃO E QUALIDADE NA GESTÃO DE DADOS EXPERIMENTAIS.....                                     | 34        |
| 2.7 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DIGITAL PARA CONTROLE DE CORPOS DE PROVA.....                     | 36        |
| 2.7.1 Ferramentas Utilizadas <i>Lovable e Supabase</i> .....                                        | 37        |
| 2.7.2 Aplicação prática das ferramentas <i>Lovable e Supabase</i> no contexto laboratorial...       | 38        |
| <b>3 MÉTODOS.....</b>                                                                               | <b>41</b> |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO E ABORDAGEM DA PESQUISA.....                                                     | 42        |
| 3.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO ATUAL DE CONTROLE TECNOLÓGICO.....                                       | 44        |
| 3.3 LEVANTAMENTO DE REQUISITO DO SISTEMA.....                                                       | 44        |
| 3.4 MODELAGEM DO SISTEMA.....                                                                       | 45        |
| 3.5 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE GESTÃO.....                                                    | 46        |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.5.1 Implementação do sistema.....</b>                              | <b>47</b> |
| <b>3.5.2 Estratégia de desenvolvimento do sistema.....</b>              | <b>48</b> |
| <b>3.5.3 Desenvolvimento assistido por inteligência artificial.....</b> | <b>48</b> |
| <b>3.5.4 Especificação do sistema.....</b>                              | <b>49</b> |
| <b>3.5.5 Interface e usabilidade do sistema.....</b>                    | <b>50</b> |
| <b>3.5.6 Modelagem de dados e infraestrutura <i>backend</i>.....</b>    | <b>50</b> |
| <b>3.5.7 Limitações e evolução do sistema.....</b>                      | <b>51</b> |
| <b>3.6 PROCEDIMENTO DE TESTE E VALIDAÇÃO.....</b>                       | <b>52</b> |
| <b>3.7 ANÁLISES DOS DADOS.....</b>                                      | <b>53</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                    | <b>54</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                      | <b>66</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                 | <b>67</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Considerada um dos setores importantes da economia de um país, a construção civil tem função de projetar, planejar e executar obras civis, sendo responsável por grande parte da infraestrutura urbana. Nesse contexto, a segurança e a qualidade das edificações dependem do controle tecnológico dos materiais, em particular o concreto, por ser este insumo o mais consumido nas obras (Bauer, 2023). Os critérios de controle e recebimento do concreto, estabelecidos na NBR 12655, definem ser obrigatória a verificação das propriedades mecânicas para garantir a conformidade com o projeto estrutural. Com relação aos ensaios de resistência à compressão axial de corpos de prova, normatizado pela NBR 5739, é o mais representativo da qualidade do concreto endurecido (ABNT, 2018).

Na obra, o controle tecnológico inicia-se por meio da moldagem dos corpos de prova durante a concretagem. Os lotes devem ser identificados com data, peça concretada, traço e resistência de projeto. Nos laboratórios, os corpos de prova permanecem em cura até as idades de rompimento, especificamente aos 7 e 28 dias. O resultado obtido no ensaio de resistência à compressão é comparado com o *fck* (*Feature Compression Strength of Concrete*) de projeto. A partir dessa comparação, determina-se a aceitação do lote de concreto (Neville; Brooks, 2018). Logo, em cada etapa, o controle rigoroso é essencial para garantir a rastreabilidade e a validade técnica destes resultados.

A gestão dessas informações, ainda acontece em grande parte de maneira manual ou por meio de planilhas eletrônicas dispersas. Tal método fragmenta os dados, incorrendo no aumento da probabilidade de falhas humanas, como perdas de registros e esquecimento de prazos de rompimento. Destacam Mehta e Monteiro (2022) que a falta de rastreabilidade no controle de corpos de prova é um dos principais aspectos que ocasionam não conformidades em auditorias de qualidade. A falta de um sistema centralizado prejudica a confiabilidade dos dados e a tomada de decisão técnica, podendo gerar prejuízos financeiros e retrabalho.

Um dos requisitos normativos e legais no controle tecnológico do concreto é a rastreabilidade. Nesse sentido, a NBR 12655 exige os lotes de concreto rastreáveis desde a produção na usina até a aplicação na estrutura e o respectivo ensaio de resistência. A utilização de planilhas isoladas e anotações em papel infringe essa cadeia de custódia da informação. Afirmam Tutikian e Pacheco (2023) que a falta de um sistema integrado de gestão é o ponto crítico da rastreabilidade eficaz em obras, impedindo a correlação rápida entre um resultado de ensaio não conforme e o elemento estrutural onde o concreto foi

aplicado. Essa lacuna causa riscos jurídicos e técnicos às construtoras, particularmente em casos de manifestações patológicas futuras.

Ademais, a ineficiência no controle manual impacta diretamente a produtividade dos laboratórios. Estimam Helene e Terzian (2024) que técnicos gastam até 40% do tempo de trabalho em atividades administrativas de transcrição de dados, busca de históricos e formatação de laudos, em vez de focar na execução e análise dos ensaios.

Tendo em vista esse cenário, duas questões centrais norteiam o desenvolvimento desta pesquisa: de que forma os métodos tradicionais de registro manual e planilhas dispersas impactam a confiabilidade, a rastreabilidade e o cumprimento de prazos no controle tecnológico de corpos de prova? E ainda, em que medida o desenvolvimento de um sistema digital de gestão pode otimizar a organização, a automação dos registros e a geração de relatórios de ensaios de resistência à compressão, reduzindo falhas operacionais na construção civil?

Impulsionada pela Construção 4.0, a transformação digital que vem acontecendo no setor da construção civil transparece a necessidade de substituir processos analógicos por soluções tecnológicas que assegurem eficiência (Santos; Martins Júnior, 2024). Nesse cenário, os sistemas integrados surgem como solução, pois possibilitam o cadastramento padronizado dos lotes, o controle automático de idades de rompimento por alerta e a emissão de relatórios técnicos conforme as normas. Essa automação permite reduzir o tempo das atividades burocráticas e cria um histórico auditável de todo o ciclo de vida do corpo de prova.

Desse modo, evidencia-se que o diferencial deste trabalho reside na proposta de uma ferramenta digital específica para a gestão do ciclo completo dos corpos de prova, integrando desde o cadastro do lote até a geração automatizada de relatórios. As funcionalidades deste sistema, tais como alertas de rompimento, rastreabilidade por lote e betonada, e emissão de laudos padronizados, focam em eliminar as falhas críticas identificadas nos métodos tradicionais.

Portanto, o objetivo geral deste estudo é desenvolver um sistema de controle tecnológico do concreto com gestão de corpos de prova de concreto e ensaios de resistência à compressão, com a finalidade de automatizar os registros, garantir a rastreabilidade e otimizar a emissão de relatórios técnicos conforme as normas NBR 5739 e NBR 12655. Logo, a pesquisa se justifica pela necessidade de migrar de um controle vulnerável a falhas humanas para um modelo de gestão eficiente e confiável, favorecendo a segurança estrutural e a qualidade na construção civil brasileira.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

- Desenvolver um sistema de gestão para controle de corpos de prova de concreto.

### 1.1.2 Específicos

- Levantar informações sobre o processo de controle tecnológico do concreto, com foco no acompanhamento de corpos de prova e nos ensaios de resistência à compressão;
- Identificar dificuldades e limitações existentes nos métodos tradicionais de registro e controle dessas informações, como planilhas ou registros manuais;
- Definir os requisitos e funcionalidades necessárias para um sistema de gestão voltado ao controle de corpos de prova de concreto;
- Desenvolver um sistema digital para cadastro, acompanhamento e armazenamento das informações relacionadas aos corpos de prova e aos resultados dos ensaios.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A QUALIDADE DO CONCRETO E O CONTROLE TECNOLÓGICO

A qualidade do concreto é um tema vasto, abrangendo desde a seleção de materiais até a cura e controle tecnológico. Na engenharia civil a qualidade e o controle do concreto são considerados elementos fundamentais, pois estão diretamente relacionados à segurança, durabilidade e desempenho das estruturas. De acordo com Helene e Terzian (2024) por ser o concreto um material heterogêneo composto por cimento, agregados, água e, eventualmente, aditivos, apresenta variabilidade em suas propriedades, assim é indispensável adotar procedimentos sistemáticos de controle tecnológico durante todas as etapas da obra. Nesse cenário o controle da qualidade é visto como aspecto essencial do processo construtivo, e não apenas como uma etapa final de verificação.

Compreendido como uma das principais ações voltadas a garantir que o material produzido atenda aos requisitos estabelecidos em projeto e às normas técnicas vigentes, o controle tecnológico está inserido em um contexto mais amplo de controle da qualidade. Esse controle envolve a capacitação das equipes, a adoção de procedimentos padronizados, o controle tecnológico dos materiais, a rastreabilidade dos processos, a definição de planos de amostragem, o registro sistemático das atividades realizadas, a gestão de não conformidades e o monitoramento dos processos de produção e execução. Em conjunto, essas práticas contribuem para assegurar a confiabilidade e o desempenho das estruturas, uma vez que a ausência de um controle rigoroso pode comprometer significativamente o desempenho das estruturas ao longo de sua vida útil (Silva *et al.*, 2025).

Desse modo, conforme Rolim, Britez e Helene (2018) a resistência à compressão é utilizada como um dos principais parâmetros para avaliar a qualidade do concreto. Esse parâmetro expresso pelo valor característico, denominado  $f_{ck}$ , é imprescindível para o dimensionamento estrutural e para a verificação da conformidade do concreto produzido. O  $f_{ck}$  é determinado por meio de ensaios em corpos de prova moldados e curados, que são posteriormente submetidos a carregamento até a ruptura. Os resultados obtidos são analisados estatisticamente para verificar o atendimento aos critérios normativos, o que permite avaliar a variabilidade do concreto e garantir sua confiabilidade estrutural.

Portanto, a qualidade do concreto tem sido avaliada pelo ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova, segundo os procedimentos prescritos nas normas brasileiras NBR 7212, NBR 12655, NBR 5738, NBR 5739, NBR 8953 e NBR 14931. Contudo, as

normas permitem escolher os procedimentos a serem empregados e as múltiplas combinações as quais provêm desta seleção podem causar variações nos resultados de diferentes amostras retiradas de um mesmo concreto (Isaia, 2022).

Outra propriedade do concreto que deve ser controlada, especificamente no estado fresco, é a trabalhabilidade. Por ser uma característica que influencia diretamente a facilidade de lançamento, adensamento e acabamento do concreto. A APL Engenharia (2026) aponta que esta propriedade pode ser avaliada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), que fornece uma medida prática da consistência do material. Um concreto com trabalhabilidade inadequada pode resultar em falhas de execução, como vazios e segregação, comprometendo a qualidade final da estrutura.

Possui também relevância nesse aspecto o controle durante a execução e a cura do concreto, pois esta é indispensável para o desenvolvimento das propriedades mecânicas e a durabilidade do material. Mendes (2021) destaca que a manutenção da umidade do concreto nos primeiros dias após o lançamento evita a evaporação excessiva da água, permite a hidratação adequada do cimento e reduz o risco de fissuração; isso é importante para garantir que o concreto atinja a resistência prevista em projeto.

Além do ensaio de compressão, ensaios não destrutivos como esclerometria, ultrassom e módulo de elasticidade vêm sendo utilizados na construção civil. Conforme Bilesky *et al.* (2025) esses métodos avaliam o concreto sem danificar a estrutura, permitindo monitorar o desempenho ao longo do tempo e otimizar a manutenção.

Nesse processo, é primordial o controle da granulometria dos agregados, a verificação da qualidade da água de amassamento e a dosagem precisa dos materiais, isso impacta diretamente na resistência final e na durabilidade da estrutura. Consequentemente, esses controles devem seguir rigorosamente as diretrizes estabelecidas por normas técnicas, como a NBR 12655, que define os requisitos para preparo, controle e recebimento do concreto. Essa ação permite a padronização dos procedimentos contribuindo com a redução da variabilidade e a obtenção de um material com desempenho mais uniforme (Rolim, Britez e Helene, 2018).

Entende-se por meio dos estudos de Silva *et al.* (2025) que o controle tecnológico do concreto é muito amplo, consistindo em moldar, romper corpos de prova, apresentar a caracterização física e química de seus materiais componentes (cimento, adições, agregados, aditivos e fibras), as análises dessas caracterizações, os estudos experimentais de dosagem, a determinação das características mecânicas (resistência à compressão e a tração, módulo de elasticidade), a determinação das propriedades do concreto fresco (abatimento, massa específica, teor de ar, exsudação e viscosidade) e das propriedades de transporte (absorção por

imersão e fervura, absorção por capilaridade, penetração de água sob pressão, resistividade elétrica, tortuosidade e migração iônica).

É importante perceber que o controle tecnológico do concreto engloba um conjunto de procedimentos que tem a função de assegurar a qualidade do material, desde a seleção dos insumos até a verificação de suas propriedades mecânicas. Assim sendo, esclarecem Montelo e Rossini (2022) que mediante o avanço da tecnologia, torna-se cada vez mais importante a implementação de sistemas de gestão capazes de fornecer um controle eficiente dos dados obtidos nos ensaios, promovendo maior rastreabilidade, organização e tomada de decisão no processo construtivo.

Diante do exposto, conclui-se que a eficiência do controle de qualidade do concreto depende da integração entre projeto, execução, fiscalização e da adoção de boas práticas de controle tecnológico, não apenas assegurando a segurança estrutural, mas também contribuindo para a redução de custos e a sustentabilidade das construções. Assim, o controle adequado do concreto deve ser considerado um processo crucial em qualquer empreendimento da construção civil (Calçada, 2019).

## 2.2 CONCEITO E IMPORTÂNCIA DOS CORPOS DE PROVA

Conceitualmente, corpo de prova (CP) é reconhecido como sendo uma amostra representativa de um material, podendo ser concreto, aço ou outros materiais de construção. Esta é moldada ou retirada com a finalidade de ser submetida a ensaios laboratoriais. Isaia (2022) destaca que os corpos de prova são amplamente utilizados na construção civil, podendo ser definidos como amostras padronizadas que têm por objetivo servir para a avaliação e análises de suas propriedades físicas, químicas, mecânicas e estruturais, como resistência à compressão e elasticidade, garantindo a qualidade, segurança e durabilidade das estruturas e a conformidade com as normas técnicas ABNT e o projeto de engenharia.

É importante evidenciar que o uso de corpos de prova padronizados possibilita obter resultados confiáveis e comparáveis, devido à sua funcionalidade de eliminar ou reduzir a influência de variáveis externas que são capazes de comprometer a análise dos dados. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, apontada na NBR 5738, os corpos de prova de concreto devem ser moldados em dimensões específicas, geralmente cilíndricas (10x20 cm ou 15x30 cm), em concordância com os procedimentos rigorosos de preparo, adensamento e cura (ABNT, 2015). Tal padronização é fundamental, pois assegura que os resultados obtidos em diferentes laboratórios ou obras possam ser comparados de maneira

consistente.

Outro ponto relevante é quanto ao preparo adequado dos corpos de prova, por ser isso determinante para a representatividade dos resultados. Elementos como a homogeneidade da mistura, o correto adensamento e as condições de cura têm a capacidade de influenciar diretamente o desempenho final do material ensaiado. Segundo Neville e Brooks (2018), existe uma relação íntima entre a resistência do concreto e seu processo de cura; portanto é essencial que os corpos de prova sejam armazenados em condições controladas de temperatura e umidade para evitar variações nos resultados.

Nesse processo, é também indispensável apontar a importância dos corpos de prova na validação científica dos estudos experimentais. Dessa forma, apresenta-se que, em pesquisas acadêmicas e ensaios tecnológicos, a utilização de amostras padronizadas oportuniza a repetibilidade dos experimentos, favorecendo a reprodução dos resultados por outros pesquisadores. Quanto à confiabilidade dos dados experimentais, Mehta e Monteiro (2022) demonstram que esta depende diretamente do controle rigoroso das variáveis envolvidas. Por isso, os corpos de prova padronizados são instrumentos indispensáveis para obter resultados representativos.

No tocante ao controle tecnológico do concreto, é possível enfatizar que os corpos de prova desempenham um papel determinante na verificação da conformidade do material com os requisitos estabelecidos em projeto. Como exemplo, é apontada a resistência à compressão, por ser este um dos principais parâmetros usados com o fim de avaliar a qualidade do concreto. Sua determinação ocorre, por meio de ensaios realizados em corpos de prova após períodos específicos de cura, como 7 e 28 dias. Esclarece Isaia (2022) que é indispensável a realização desses ensaios para a tomada de decisões durante a execução da obra, porque possibilitam a identificação de possíveis falhas no processo de produção do concreto.

Outra questão que deve ser considerada faz referência à evolução tecnológica associada ao uso de corpos de prova. Na atualidade, os sistemas digitais de gestão estão sendo incorporados ao controle tecnológico, por causa da sua função de permitir o registro, armazenamento e análise automatizada dos dados obtidos nos ensaios. Dessa maneira, fica transparente que esses sistemas contribuem para a redução de erros humanos, maior agilidade na interpretação dos resultados e melhor tomada de decisão. Assim explicam Souza e Ripper (2018): quando ocorre uma integração entre controle de qualidade e tecnologia, isso irá resultar em um avanço significativo para o setor da construção civil.

Com foco nas contextualizações apresentadas, identificam-se os corpos de prova que desempenham um papel essencial tanto na prática profissional quanto na pesquisa científica.

O uso correto destes, em junção ao cumprimento das normas técnicas, favorece a obtenção de resultados confiáveis, contribuindo para a qualidade, segurança e durabilidade das estruturas. Por fim, entende-se que fatores como padronização, controle rigoroso das condições experimentais e o uso de tecnologias de gestão reforçam ainda mais a importância dessas amostras no contexto da engenharia moderna.

### 2.3 CONTROLE E RASTREABILIDADE DE AMOSTRAS

São considerados como pilares essenciais o controle e a rastreabilidade de amostras para a área da pesquisa experimental e do controle tecnológico, especificamente no âmbito da engenharia civil e dos ensaios laboratoriais de materiais. A função desses processos é assegurar que todas as etapas envolvendo os corpos de prova sejam devidamente monitoradas, registradas e verificáveis, garantindo com isso a confiabilidade dos resultados obtidos. Especificamente, a rastreabilidade possibilita a identificação da origem, do histórico e das condições às quais cada amostra foi submetida; logo, é imprescindível para as auditorias técnicas, assim como para a validação científica (Santos; Martins Júnior, 2024).

É importante entender que o início do controle rigoroso das amostras ocorre a partir da coleta ou moldagem dos corpos de prova e vai até o transporte, armazenamento, cura e ensaio final. Todas essas etapas devem ser realizadas em conformidade com as normas técnicas estabelecidas; isso irá minimizar os erros e assegurar a integridade dos dados. Relata em seus estudos Demarchi (2024) que o controle tecnológico do concreto engloba várias fases, dentre estas pré-concretagem, concretagem e pós-concretagem, em que o acompanhamento sistemático e o registro das informações são elementares no objetivo de garantir a qualidade do material e a conformidade com o projeto estrutural.

Quanto à funcionalidade da rastreabilidade das amostras, tem-se que esta possibilita que todos os resultados obtidos em laboratório sejam relacionados diretamente às condições reais de produção e aplicação do material. Assim, poderá ser rastreada a origem de todas as inconformidades e falhas identificadas no processo permitindo com isso, adotar medidas corretivas. Segundo as análises contidas no Diagnósticos do Brasil (2025) a rastreabilidade não deve ser compreendida apenas como elemento burocrático, mas particularmente como um mecanismo essencial para monitorar todo o ciclo de vida da amostra, capaz de evitar erros, perdas e inconsistências nos resultados.

Sendo também a rastreabilidade indispensável para a validação científica e para a repetição de experimentos. Quanto à confiabilidade esta é vista nas pesquisas acadêmicas e

nos ensaios laboratoriais como um dos principais critérios que permitem a reprodução de resultados. No entanto, para que isso ocorra, é crucial que todas as informações relacionadas às amostras estejam devidamente registradas, incluindo data de moldagem, condições de cura, identificação do lote e procedimentos adotados. Esclarecem Paula e Gomes (2024) que o controle de qualidade laboratorial que utiliza a rastreabilidade tem por responsabilidade respaldar a confiabilidade e a precisão dos resultados em todas as fases do processo, seja na etapa pré-analítica ou na pós-analítica.

No que se refere ao controle tecnológico do concreto, destaca-se que a rastreabilidade possui um papel ainda mais relevante. Nesse contexto, os corpos de prova são amplamente usados para a avaliação da resistência à compressão e de outros parâmetros essenciais para a segurança estrutural. Portanto, a identificação correta de cada amostra e o registro de seu histórico oportunizam a verificação do concreto usado, apontando se esse atende às especificações do projeto. Desse modo, esclarecem Santos e Martins Júnior (2024) que a análise de dados de rastreabilidade em obras favorece a verificação da conformidade dos lotes de concreto, contribuindo diretamente para a tomada de decisões técnicas e para a garantia da qualidade final da estrutura.

É relevante demonstrar a importante contribuição da rastreabilidade em auditorias e certificações. Assim nos sistemas de gestão da qualidade, baseados em normas técnicas, é fundamental que todas as etapas do processo sejam documentadas e passíveis de verificação permitindo, por meio da rastreabilidade, mostrar se os procedimentos foram realizados de acordo com os padrões estabelecidos, aumentando a transparência e a confiabilidade das informações. Com relação ao controle tecnológico, Pedroso (2024) diz que este fornece subsídios para a avaliação da qualidade da obra e a identificação de possíveis causas de patologias; ou seja, é essencial o registro adequado das amostras e dos ensaios realizados.

Atualmente, a evolução no campo das tecnologias tem tornado cada vez mais eficiente a rastreabilidade de amostras, isso mediante o uso de sistemas digitais. Dessa maneira, o registro e a análise em tempo real das informações, reduzindo a ocorrência de erros humanos e facilitando o acesso aos dados, tornaram acessíveis por meio da utilização de planilhas eletrônicas, softwares de gestão e bancos de dados automatizados. Sobre as ferramentas digitais nesse processo, Demarchi (2024) evidencia que estas possuem um papel fundamental na organização das informações, na realização de auditorias e na otimização dos processos de controle tecnológico.

Diante das contextualizações apresentadas, pontua-se que, se houver ausência de controle e rastreabilidade adequados, poderão ser comprometidos seriamente os resultados

dos ensaios e a segurança das estruturas. Assim, entende-se que, caso haja erros na identificação das amostras, falhas no armazenamento ou inconsistências nos registros, isso pode gerar interpretações equivocadas e decisões inadequadas. Nesta conjuntura, Paula e Gomes (2024) expõem que o controle rigoroso das amostras assegura a qualidade dos dados e contribui para a prevenção de falhas estruturais, além de aumentar a durabilidade das construções.

Logo, conclui-se que o controle e a rastreabilidade de amostras são ferramentas primordiais no tocante à garantia da qualidade em ensaios laboratoriais e no controle tecnológico do concreto, pois tais processos têm por função possibilitar o acompanhamento detalhado de todas as etapas envolvidas, assegurando a confiabilidade dos resultados e permitindo a identificação de falhas, assim como a implementação de melhorias. Desse modo, a adoção de práticas padronizadas, aliada ao uso de tecnologias digitais, consolida ainda mais a importância da rastreabilidade como elemento indispensável para a engenharia moderna e a produção científica de qualidade.

### **2.3.1 Dificuldades e limitações dos métodos tradicionais no controle manual de corpos de prova**

É importante evidenciar que a gestão e o controle de corpos de prova de concreto são aspectos relevantes para o controle tecnológico na construção civil, por ter a capacidade de assegurar a resistência ( $f_{ck}$ ) do concreto e atender às exigências estruturais do projeto. Desse modo, percebe-se o quanto os corpos de prova são elementos centrais para o processo positivo da construção civil. Isso ocorre, pois estes possibilitam avaliar a resistência à compressão do concreto em diferentes idades e, portanto, serem utilizados como parâmetro de aceitação ou rejeição do material. De acordo com o estabelecido pelas normas técnicas brasileiras, como a NBR 5738 e a NBR 5739, é indispensável garantir a correta moldagem, identificação, cura e ruptura dessas amostras (ABNT, 2015; ABNT, 2018).

No entanto, mesmo diante da importância desse controle, várias empresas ainda utilizam métodos tradicionais, entre os quais registros manuais e planilhas eletrônicas. Esclarece Demarchi (2024) que tais métodos apresentam limitações significativas, especificamente em relação à rastreabilidade e à confiabilidade dos dados. Logo, o autor destaca uma crescente necessidade de modernização dos processos por meio da implementação de sistemas digitais de gestão.

Relata Souza (2024) que uma das principais fragilidades desses métodos está

relacionada à falta de rastreabilidade, agilidade e segurança das informações, ou seja, à ausência de um sistema estruturado na construção civil, dificultando o acompanhamento do histórico dos corpos de prova, comprometendo a confiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios de compressão. Tal deficiência, além de inviabilizar auditorias, pode também comprometer a qualidade do controle tecnológico.

Destaca-se ainda a alta incidência de erros humanos como uma das dificuldades de se utilizar esses tipos de métodos tradicionais; isso decorre do fato de que o preenchimento manual de fichas e planilhas está sujeito a falhas, como erros de digitação, omissões e inconsistências. Assim, relatam Souza e Ripper (2018), os erros de registro podem gerar interpretações equivocadas com relação ao desempenho do concreto e, consequentemente, produzir resultados inadequados quanto às decisões técnicas.

Mencionada inclusive como limitação relevante está a falta de integração entre as etapas do processo, isto porque o controle tecnológico engloba vários setores, entre estes a produção, transporte, moldagem e laboratório, e ao utilizar os métodos tradicionais, essas informações mantêm-se descentralizadas, dificultando a análise global do processo (Demarchi, 2024). A gestão dos prazos de ensaio também representa um problema significativo, enfatiza Carvalho (2023) quando se utiliza o controle manual das idades de rompimento (7, 14 e 28 dias), amplia-se a probabilidade de atrasos ou falhas, prejudicando a validade dos resultados e, consequentemente, o cumprimento das normas técnicas.

Apontado também como um aspecto crítico neste cenário está a limitação das análises de dados, visto que os métodos tradicionais não oferecem suporte para análises estatísticas avançadas, dificultando assim a identificação de tendências e desvios de qualidade, em decorrência de ser esta análise essencial para avaliar a variabilidade do concreto e garantir a confiabilidade estrutural (Lopes, 2020). Logo, entende-se, diante das evidências apresentadas, que os métodos tradicionais não são adequados para atender às exigências das atuais demandas da construção civil, especificamente em obras de grande porte e complexidade.

## 2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO APLICADOS À GESTÃO LABORATORIAL

O avanço das tecnologias da informação vem impulsionando transformações significativas na gestão laboratorial moderna. Dessa forma, percebe-se que os sistemas de informação passaram a ser ferramentas essenciais, no sentido de garantir maior eficiência, confiabilidade e rastreabilidade dos dados gerados em ambientes laboratoriais. A importância desses sistemas se dá devido à sua função de permitir a organização, o armazenamento e o

gerenciamento adequado das informações, substituindo progressivamente os métodos manuais que, além de mais suscetíveis a erros, dificultam o acesso e a análise dos dados (Silva; Oliveira, 2021).

Nesse contexto, a gestão laboratorial adota sistemas informatizados por representarem um importante avanço estratégico, especificamente nas áreas em que é necessário rigor técnico, entre estas os laboratórios de controle tecnológico do concreto, as análises clínicas e as pesquisas científicas. Diante disso, Costa (2022) destaca que é relevante a digitalização dos processos, objetivando assim o aumento da produtividade e assegurando a qualidade dos resultados.

Conceitualmente, sistema de informações (SI) aplicado à gestão laboratorial na engenharia refere-se ao conjunto de software, hardware, processos e pessoas que são usados com a finalidade de coletar, armazenar, processar e distribuir os dados relacionados à mão de obra, buscando aumentar a eficiência, segurança e produtividade no canteiro de obras (Ferreira; Souza, 2020).

Geralmente, os sistemas de informação aplicados à gestão laboratorial são denominados LIMS (*Laboratory Information Management Systems*), sendo estas plataformas criadas com a função de gerenciar todas as etapas relacionadas às atividades laboratoriais. Tais sistemas, conforme mencionam Ferreira e Souza (2020) são reconhecidos por possibilitarem tarefas como o registro de amostras, controle de ensaios, controle de usuários, armazenamento de resultados e emissão de relatórios de forma integrada e automatizada.

Dentre as funcionalidades desses tipos de sistemas, a principal é a centralização das informações. Pontua Martins (2024) que os dados em um ambiente tradicional são geralmente registrados em planilhas ou documentos físicos, dificultando com isso a sua recuperação e aumentando o risco de perda ou inconsistência. Dessa forma, os autores mencionam ainda em seus estudos a importância da implementação dos sistemas digitais, os quais permitem que todas as informações fiquem armazenadas em bancos de dados estruturados, permitindo seu acesso rápido e seguro.

Já Almeida e Pereira (2021) demonstram como relevância da aplicação dos sistemas de informação a possibilidade de padronização dos processos laboratoriais. Os autores evidenciam ser tal função essencial no sentido de garantir que os procedimentos sejam realizados em conformidade com normas técnicas e regulatórias, como as estabelecidas por órgãos de controle de qualidade. Além disso, a padronização contribui ainda para a repetibilidade dos ensaios e para a confiabilidade dos resultados obtidos.

A principal conclusão, conforme o exposto quanto à aplicação de sistemas de

informação na gestão laboratorial na área da construção civil, é que estes são fundamentais no sentido de assegurar a qualidade em conformidade com as normas técnicas, a eficiência operacional e a integridade estrutural e, em consequência disso, tem-se a redução no desperdício de materiais e um aumento na velocidade de tomada de decisões nas obras.

#### **2.4.1 Evolução dos métodos manuais para digitais**

Os registros históricos mostram que a gestão laboratorial era executada, via registros manuais, entre esses: fichas, cadernos e planilhas. Mesmo tendo sido amplamente usados, esses métodos apresentam limitações significativas, tais como maiores probabilidades de erros humanos, baixa eficiência na recuperação de informações e dificuldade de armazenamento (Rodrigues, 2020).

Logo, nesse cenário, é vista como uma mudança paradigmática a transição para os sistemas digitais, por meio da utilização de softwares especializados, tornando automatizados os registros e reduzindo significativamente a incidência de erros relacionados à digitação, cálculos e interpretação de dados. Destacam Barbosa e Lima (2022) que os sistemas digitais, além disso, possibilitam a integração com equipamentos laboratoriais, permitindo a coleta automática de dados e o aumento da precisão das medições.

Apontado também como um aspecto relevante relacionado a essa transição está a melhoria no âmbito da rastreabilidade das informações. Ao aplicar os sistemas digitais, tem-se a possibilidade de acompanhamento de todo o histórico de uma amostra, desde sua coleta até a emissão do laudo final. Portanto, Santos (2024) sinaliza que tal rastreabilidade é imprescindível para o campo das auditorias, validação dos resultados e garantia da qualidade; logo, como se vê, este é um importante aspecto para os sistemas de gestão da qualidade.

Mediante os contextos científicos abordados, entende-se ser a evolução dos métodos digitais nos sistemas de informação laboratorial uma ferramenta essencial, devido às suas funções em permitir eficiência, precisão, segurança e competitividade na gestão laboratorial. Com essa transição, foram eliminados processos realizados em planilhas e papel, automatizando assim o fluxo do trabalho pré-analítico, analítico e pós-analítico, reduzindo com isso os erros humanos e agilizando a liberação de laudos.

#### **2.4.2 Benefícios dos sistemas de informação na gestão laboratorial**

A implementação de sistemas de informação na gestão laboratorial, como o LIMS (*Laboratory Information Management System*) traz para o cenário da construção civil diversos benefícios estratégicos e operacionais. Isso garante uma maior precisão nos ensaios tecnológicos (concreto, solo, asfalto) e agilidade na tomada de decisão destacando-se:

1. Aumento da eficiência operacional: os sistemas informatizados possibilitam a automação de tarefas repetitivas, tais como, registro de dados e geração de relatórios, diminuindo o tempo gasto nessas atividades e oportunizando aos profissionais se concentrarem em tarefas mais analíticas (Costa *et al.*, 2022).
2. Redução de erros: ao eliminar os processos manuais, a ocorrência de erros humanos reduziu-se significativamente, especificamente no que se relaciona à transcrição de dados e cálculos (Ferreira; Souza, 2020).
3. Melhor acesso às informações: ao serem digitados os dados armazenados permitem ser acessados de maneira segura, ágil e rápida, tornando mais fácil a análise dos resultados e consequentemente a tomada de decisão (Martins *et al.*, 2023).
4. Rastreabilidade e controle: a implementação de sistemas digitais de informação possibilita o acompanhamento detalhado de todas as etapas do processo laboratorial, proporcionando maior controle das operações realizadas, além de facilitar atividades de auditoria, verificação e rastreamento dos dados registrados (Santos *et al.*, 2024).
5. Integração dos dados: a integração dos sistemas digitais aos equipamentos laboratoriais cria um ambiente mais eficiente e conectado, diminuindo assim, as redundâncias e melhorando a qualidade das informações (Barbosa; Lima, 2022).

#### **2.4.3 Desafios na implementação de sistema de informação laboratorial**

Apesar dos benefícios proporcionados pelos sistemas de informação em laboratórios, sua implementação também apresenta desafios significativos. Segundo Almeida e Pereira (2021), um dos principais entraves está relacionado ao elevado custo inicial de aquisição e implantação desses sistemas, especialmente em laboratórios de pequeno porte.

Também citado como um desafio relevante é a necessidade de capacitação dos profissionais, porque a utilização eficaz desses sistemas exige um treinamento adequado, de maneira que seus usuários possam manusear todas as funcionalidades disponíveis evitando erros operacionais (Rodrigues *et al.*, 2020). Outro ponto que deve ser considerado, além das questões citadas, é a segurança da informação. Como declara Santos *et al.* (2024), é crucial

assegurar a proteção dos dados contra acessos não autorizados, perdas e ataques cibernéticos, principalmente em laboratórios que lidam com informações sensíveis.

De acordo com o exposto percebe-se que os sistemas de informação aplicados à gestão laboratorial no contexto da construção civil são vistos como ferramentas indispensáveis quanto a modernização dos processos e melhoria da qualidade dos serviços prestados. Portanto, a transição ocorrida nos métodos manuais para sistemas digitais, gerou maior eficiência, redução de erros e melhorou o acesso às informações, favorecendo a tomada de decisões mais assertivas e o cumprimento de requisitos normativos.

É importante também mencionar que apesar dos desafios relacionados à implementação, os benefícios superam significativamente as dificuldades, assim esses sistemas são considerados um investimento estratégico para laboratórios que buscam excelência operacional e competitividade no mercado. Por fim, aponta-se que a adoção de tecnologias da informação na gestão laboratorial tornou-se uma tendência essencial e irreversível no tocante ao desenvolvimento científico e tecnológico.

## 2.5 SISTEMAS DE GESTÃO E CONTROLE DE CORPOS DE PROVA

Visto no âmbito da construção civil como um elemento imprescindível, a aplicação de um sistema de gestão voltado ao controle de corpos de prova de concreto vem ganhando destaque, por ter esta a finalidade de garantir a segurança estrutural e assegurar que o concreto atinja, a resistência ( $f_{ck}$ ) projetada, prevenindo assim as possíveis manifestações patológicas e garantindo conformidade com as normas técnicas da ABNT. Segundo Ramos (2016) tal sistema objetiva ainda organizar a rastreabilidade, moldagem, cura, ensaios de rompimento e laudos, reduzindo com esses aspectos os erros humanos e a burocracia.

A utilização de um sistema de gestão voltado ao controle de corpos de prova de concreto traz benefícios como a rastreabilidade total, pois vincula cada corpo de prova ao local específico da concretagem, volume e data como mostra Calçada (2019). O sistema também garante o controle da qualidade tecnológica para monitorar a resistência à compressão evitando dessa forma as falhas (Bilesky *et al.*, 2025), além de promover organização e agilidade ao automatizar o fluxo de informações, o *status* de cura e rompimento, por meio de painéis, a exemplo do *Sienge Construpoint*, essencial ao Plano de Controle Tecnológico (PCT) e a conformidade com NBR 12655 (ABNT, 2022). Por fim, contribui para a segurança estrutural ao identificar precocemente problemas no concreto, permitindo correções antes da aplicação definitiva na estrutura (Lascarro, 2017).

Outra contribuição relevante dos sistemas de gestão aplicados ao controle de corpos de prova de concreto refere-se à redução de custos e minimização de erros operacionais. Segundo Lopes (2020), esses sistemas auxiliam na prevenção da perda de amostras, além de facilitar o arquivamento e a rastreabilidade documental, otimizando o controle interno dos laboratórios.

Desse modo, a adoção de um sistema de controle tecnológico eficiente, associado à gestão adequada dos corpos de prova e dos ensaios laboratoriais, torna-se essencial para garantir a conformidade com as normas técnicas, contribuindo para a melhoria da qualidade, da segurança das estruturas de concreto, para a durabilidade das construções civis, assim como para a redução de custos com manutenção e o retrabalho (Borges, Vieira e Campos, 2020).

### **2.5.1 Software de controle e gestão de corpos de prova**

Observa-se que a constante evolução relativa, a complexidade dos processos laboratoriais e a necessidade de garantir qualidade, rastreabilidade e confiabilidade dos resultados são aspectos que vem impulsionando a crescente necessidade pela utilização de softwares especializados na gestão de corpos de prova. Assim sendo, ganha destaque os sistemas conhecidos como LIMS (Laboratory Information Management System). Estes são ferramentas relevantes com a missão de atuar no controle, organização e monitoramento das amostras ao longo de todo o ciclo experimental. A função desses sistemas é permitir a digitalização e automação dos processos laboratoriais, contribuindo significativamente para a redução de erros e aumento da eficiência operacional (Cidesp, 2025).

Projetados com a finalidade de atender às necessidades específicas de laboratórios de ensaio, os softwares de gestão de corpos de prova têm como tarefas o cadastro detalhado das amostras, sua identificação e o acompanhamento contínuo de seu estado. Segundo os estudos da plataforma Masterinsoft, os processos utilizando os softwares de gestão de corpos de prova iniciam-se com o registro da amostra, onde são inseridas as informações essenciais como origem, data de coleta, responsável e características físicas. A realização deste cadastro pode estar associada a tecnologias como códigos de barras, *QR Code* ou *RFID*, assegurando maior precisão na identificação e rastreabilidade.

Reconhecidamente uma das funcionalidades primordiais desses tipos de sistema é o monitoramento do ciclo de vida das amostras, este engloba o acompanhamento iniciando pela

recepção até a realização dos ensaios, armazenamento e descarte. A importância dessa função está em permitir o controle de cada etapa registrada, garantindo a disponibilidade de todas as informações para auditorias e ainda a validação dos resultados. Em conformidade com alguns estudos sobre LIMS, o gerenciamento do ciclo de vida das amostras é primordial no sentido de manter a integridade dos dados, assim como, de garantir a conformidade com normas técnicas regulatórias vigentes (LabVantage, 2024).

Outro elemento considerado essencial, neste processo, é o registro dos ensaios realizados nos corpos de prova. Aqui os softwares têm como função tornar possível o armazenamento automatizado dos resultados, em alguns casos integrando-se diretamente aos equipamentos laboratoriais. Essa associação, de acordo com a Masterinsoft (2024) elimina a necessidade de inserção manual de dados, o que reduz particularmente a ocorrência de erros humanos e aumenta a confiabilidade das informações geradas, permitindo também a validação automática dos resultados tendo como suporte parâmetros previamente definidos, favorecendo a padronização dos processos laboratoriais.

A rastreabilidade é uma das principais vantagens dos softwares de gestão de corpos de prova. Esses sistemas permitem registrar todas as etapas do processo, incluindo responsáveis, datas, condições ambientais e resultados dos ensaios. Esse histórico facilita auditorias, assegura a reprodutibilidade dos experimentos e fortalece o controle de qualidade. Segundo o ISNCA (2024), a rastreabilidade completa das amostras constitui um dos pilares da confiabilidade dos dados laboratoriais.

Os softwares de gestão também oferecem recursos avançados para a geração de relatórios. Esses sistemas permitem personalizar documentos de acordo com as necessidades do laboratório, incluindo gráficos, indicadores de desempenho e histórico de ensaios. Além de agilizar a análise dos dados, a geração automática dos relatórios reduz o tempo de trabalho e garante maior consistência e padronização na apresentação dos resultados (LabWay-LIMS, 2023).

A centralização das informações em uma única plataforma é outro benefício relevante desses sistemas. Essa característica facilita o acesso aos dados por diferentes setores do laboratório, promove a integração entre as equipes e melhora a tomada de decisão. Além disso, permite o armazenamento seguro das informações por meio de controles de acesso e registros de auditoria, garantindo a integridade e a confidencialidade dos dados (Siemens, 2024).

Esses softwares também auxiliam no atendimento a normas e regulamentações, como a ISO 17025, que exige controle rigoroso dos processos laboratoriais e rastreabilidade das

amostras. Os sistemas LIMS foram desenvolvidos para atender a essas exigências, oferecendo funcionalidades como assinatura digital, controle de versões e auditoria completa das operações realizadas (LabWay-LIMS, 2023).

Outro benefício importante é a automação dos processos, que otimiza os fluxos de trabalho, reduz o tempo de execução das atividades e aumenta a produtividade do laboratório. Além disso, a integração com sistemas externos, como ERP e outros softwares corporativos, proporciona uma visão mais ampla dos processos e favorece uma gestão mais estratégica e eficiente (INDX, 2024).

Diante dos aspectos apresentados, verifica-se que a adoção de softwares para controle e gestão de corpos de prova representa um avanço importante na modernização dos laboratórios. Ao substituir processos manuais por soluções digitais, esses sistemas aumentam a precisão, a organização e a confiabilidade dos dados experimentais, além de fortalecer as boas práticas laboratoriais. Nesse contexto, essas ferramentas tornaram-se essenciais para garantir a qualidade dos resultados e a eficiência operacional dos laboratórios.

### **2.5.2 Requisitos e funcionalidades de um sistema de gestão de corpos de prova**

A rastreabilidade das amostras é o quesito fundamental de *softwares* de gestão. Borges, Vieira e Campos (2020) evidenciam que cada corpo de prova deve possuir identificação única, possibilitando com isso o acompanhamento desde a moldagem até o rompimento.

O controle automatizado dos prazos de ensaio também é fundamental nesse contexto. Segundo Carvalho (2023), os sistemas automatizados reduzem a ocorrência de falhas humanas e garantem a realização dos ensaios nas idades previstas. Outro aspecto relevante é a integração entre os diferentes setores do laboratório. De acordo com Demarchi (2024), essa integração dos dados proporciona uma visão sistêmica do controle tecnológico, facilitando a tomada de decisão e a identificação de problemas.

É indispensável também que o sistema ofereça relatórios automatizados e análises estatísticas. Em seus estudos, Mehta e Monteiro (2016) mostram que a análise dos resultados de resistência é vital para a avaliação do desempenho do concreto, garantindo dessa forma a segurança estrutural. Outro requisito necessário neste processo como esclarece Rocha (2022) é a conformidade com normas técnicas, logo, entende-se que o sistema deve estar alinhado às exigências da ABNT, garantindo que todos os procedimentos sejam realizados de acordo com os padrões estabelecidos.

Por fim, relata-se ainda a importância da segurança da informação oferecida pelos sistemas digitais de gestão de controle de provas de concreto. Conforme Neville e Brooks *et al.* (2017) todos os sistemas digitais que trazem em sua composição o controle de acesso e armazenamento em nuvem têm a necessidade de garantir maior proteção dos dados e reduzirem os riscos de perda de informações.

## 2.6 AUTOMAÇÃO E QUALIDADE NA GESTÃO DE DADOS EXPERIMENTAIS

No campo da gestão de dados experimentais a automação tem se consolidado como um dos avanços, impulsionando melhorias quanto à eficiência operacional, na confiabilidade das informações e na qualidade dos resultados. A adoção de sistemas informatizados, como relata Almeida *et al.* (2023) traz como benefícios a redução de falhas humanas, a padronização de elementos operacionais e técnicos e o fortalecimento das boas práticas laboratoriais.

Muitos laboratórios, tradicionalmente, operam com registros manuais, planilhas e controles descentralizados. A introdução de sistemas automatizados oportunizou a digitalização dos processos laboratoriais, desde a coleta de dados até a análise e geração de relatórios. A automação dos processos laboratoriais contribui diretamente para a melhoria da qualidade dos dados, uma vez que reduz interferências humanas e aumenta a precisão das medições (Silva; Santos, 2022).

Neste cenário, o uso de softwares de gestão laboratorial, como os sistemas LIMS, possui um papel central na automação dos fluxos de trabalho devido a sua capacidade de permitir a integração de diferentes etapas do processo experimental, favorecendo o maior controle e organização das informações. Como mostra Oliveira *et al.* (2023) a automação por meio de sistemas informatizados torna possível a padronização dos procedimentos, assegurando que todas as etapas sejam executadas conforme os protocolos previamente definidos, isso é essencial para a confiabilidade dos resultados.

A automação traz benefícios significativos, entre estes a redução de erros humanos, isso porque, nas atividades manuais, como transcrição de dados ou registro de resultados comumente ocorrem falhas que podem comprometer a integridade das informações. Na automação, os dados podem ser capturados diretamente dos equipamentos e registrados automaticamente no sistema, eliminando a necessidade de digitação manual. Para Pereira (2021) ao eliminar as etapas manuais reduz-se positivamente a ocorrência de erros e retrabalhos, promovendo a eficiência operacional e a credibilidade dos dados laboratoriais.

A automação contribui para a padronização dos processos laboratoriais, definindo os fluxos de trabalho, garantindo que as atividades sejam realizadas uniformemente e independente do operador responsável. Isso é essencial para os laboratórios que seguem normas técnicas rigorosas, como as diretrizes da ISO 17025, que exigem controle rigoroso dos processos e rastreabilidade das informações. A padronização promovida pela automação facilita auditorias e certificações e assegura a conformidade com requisitos normativos (Costa, 2024).

A automação traz também outro aspecto fundamental: o fortalecimento das boas práticas laboratoriais, permitindo o registro detalhado de todas as atividades realizadas, incluindo data, hora, responsável e condições do experimento, isso contribui para a transparência, rastreabilidade dos processos e validação dos resultados. Segundo Souza e Lima (2022) a rastreabilidade digital proporcionada por sistemas automatizados é um dos pilares para a garantia da qualidade em ambientes laboratoriais modernos.

É significativamente ampliada a eficiência operacional quando se usa a automação. As tarefas que antes exigiam tempo e esforço considerável são executadas de maneira rápida e precisa com a ajuda dos sistemas informatizados, permitindo aos profissionais se concentrarem em atividades mais estratégicas, como análise de resultados e tomada de decisões. A automação reduz o tempo de execução dos processos laboratoriais e aumenta a produtividade, contribuindo para melhores resultados organizacionais (Almeida *et al.*, 2023).

Quanto à qualidade dos dados, a automação tem um papel crucial na garantia da precisão e consistência das informações. Os sistemas automatizados por meio das validações, verificações e controles internos, asseguram que os dados estejam dentro de parâmetros aceitáveis antes de serem registrados. A integração com equipamentos laboratoriais permite capturar os resultados diretamente, evitando distorções ou perdas de informação. Aponta Ferreira (2021) a confiabilidade dos dados experimentais está relacionada ao nível de automação dos processos, sendo maior em ambientes altamente digitalizados.

Os sistemas automatizados favorecem agilidade na análise dos resultados, através da organização dos dados e do fácil acesso, gerando assim, relatórios em tempo real, facilitando a tomada de decisões, isso é relevante em ambientes onde a rapidez na obtenção de resultados é primordial, como em laboratórios de controle de qualidade ou pesquisa aplicada. Percebe-se que a automação permite respostas mais rápidas e assertivas, aumentando a competitividade e a eficiência das instituições laboratoriais (Martins, 2024).

Por fim, compreende-se a automação na gestão de dados experimentais melhora os processos internos e impacta diretamente na qualidade dos resultados finais, ao combinar

redução de erros, padronização, rastreabilidade, agilidade, dados confiáveis e consistentes, tudo isso é fundamental para a validação científica e técnica. Portanto, a adoção de tecnologias automatizadas é um passo imprescindível para os laboratórios que almejam excelência, inovação e conformidade com padrões de qualidade cada vez mais exigentes.

## 2.7 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DIGITAL PARA CONTROLE DE CORPOS DE PROVA

O desenvolvimento de um sistema digital de gestão representa um avanço significativo no controle tecnológico do concreto, oportunizando maior eficiência, precisão e confiabilidade dos dados. Assim sendo, inicialmente, o sistema deve ser estruturado baseando-se em uma arquitetura digital que possibilite o armazenamento centralizado das informações. A pesquisa de Girdão (2024) deixa transparente os sistemas que têm como base uma nuvem oferta maior escalabilidade e segurança e são ideais para aplicações na construção civil.

Uma das funcionalidades deste tipo de sistema que é considerada essencial é o registro digital em campo, ou seja, quando a coleta de dados é realizada diretamente no local da moldagem, isso implicará na redução de erros de transcrição e no aumento da confiabilidade das informações (Autolab, 2024).

Neste contexto, Lopes (2020) aponta que se têm gerado também resultados significativos na utilização de tecnologias como *QR Code* e *RFID*, pois tais ferramentas trazem a possibilidade de identificação automatizada dos corpos de prova. Essa concepção melhora positivamente a rastreabilidade e reduz a ocorrência de erros humanos.

Para um melhor desempenho é necessário também que o sistema englobe módulos específicos, entre estes: Cadastro de concretagens; Registro de moldagem; Controle de cura; Agendamento de ensaios; Registro de resultados e Emissão de relatórios. Entende-se que estes módulos especializados são fundamentais para garantir a rastreabilidade, integridade técnica e a automação de todo o ciclo de vida da amostra, desde a moldagem no canteiro de obras até o rompimento no laboratório (Rocha, 2022).

Apontando ainda como um avanço significativo neste âmbito é o uso de inteligência artificial e análise preditiva, em seus estudos Hagen e Andersen (2024) apresentam as tecnologias como gêmeos digitais possibilitam simular o comportamento das estruturas com base nos dados coletados, contribuindo para a tomada de decisão.

Ademais, evidencia-se que os sistemas modernos oportunizam o monitoramento em tempo real, permitindo assim a identificação imediata de não conformidades, isto contribui para a redução dos riscos e a melhoria da qualidade das obras. Dessa forma, relata Button (2022) que a adoção de sistemas digitais não apenas resolve as limitações e dificuldades encontradas nos métodos tradicionais, mas também traz como resultado positivo a elevação do nível de controle tecnológico na construção civil.

### 2.7.1 Ferramentas Utilizadas *Lovable* e *Supabase*

O desenvolvimento de um sistema digital para o controle tecnológico do Concreto com gestão de corpos de prova e ensaio de resistência à compressão pode ser estruturado de maneira clara e replicável, integrando ferramentas modernas como *Lovable* e *Supabase* que são capazes de agilizar o seu desempenho. Essa abordagem tem como premissa criar o esqueleto de um sistema, priorizando o cadastro de lotes de concreto, o rastreamento de corpos de prova (CP), o agendamento de ensaios e a análise de resultados conforme normas ABNT NBR 12655 que é aplicável ao concreto de cimento para estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricado (ABNT, 2022).

Conforme os estudos de Girdão (2024) a ferramenta *Lovable* é uma plataforma *no-code/low-code* para prototipagem rápida de *interfaces web* e *apps* e a sua principal função é possibilitar a criação de telas interativas, dashboards e fluxos visuais sem programação profunda, portanto, essa torna-se ideal para quem quer validar ideias de sistemas de gestão em dias, como *landing pages* para entrada de dados de concreto ou painéis de relatórios.

Quanta à ferramenta *Supabase* as pesquisas de Hagen e Andersen (2024) mostram que essa é um *backend open-source* (alternativa ao *Firebase*) que tem por objetivo oferecer um banco de dados *PostgreSQL* gerenciado, autenticação de usuários, armazenamento de arquivos e APIs em tempo real, considerada como um aspecto essencial para armazenar dados de CP, resultados de compressão e histórico de lotes, com queries *SQL* simples para análises estatísticas de *fck*.

A integração dessas duas ferramentas traz benefícios relevantes transformando a gestão de CP de uma tarefa burocrática para uma vantagem competitiva e de segurança no mercado da construção civil, isto porque, o *Lovable* cuida do *frontend* (UI/UX) devido a sua capacidade de desenvolvimento rápido, ágil e inteligente permitindo assim, a prototipagem em minutos e a interface amigável. Já a *Supabase* cuida do *backend*, sem necessidade de

servidores próprios, gerando um banco de dados seguros com base técnica para armazenar dados rastreáveis em tempo real e com controle de autenticação e permissões (Curra, 2025).

A combinação entre as ferramentas *Lovable* e *Supabase* é crucial para o controle crítico na construção civil, onde rastreabilidade, prazos de cura e resistência (MPa) são fundamentais, isso porque tal junção acelera o desenvolvimento com *frontend* visual (*Lovable*) e *backend PostgreSQL* escalável (*Supabase*) reduzindo dessa maneira o tempo de lançamento dos projetos na construção civil (Button, 2022).

Portanto, pontua Curra (2025) a integração entre *Lovable* e *Supabase* proporciona a criação de um sistema de gestão de qualidade, isso em virtude de facilitar a vinculação dos dados de campo (*Slump Test*, moldagem) com os dados de laboratório (rompimento) no mesmo sistema, tornando possível a geração de gráficos de evolução de resistência (MPa) diretamente na interface do *Lovable*, lendo os dados do *Supabase* em tempo real e ainda calcular automaticamente as datas de rompimento e alertar os usuários, evitando esquecimentos e garantindo o cumprimento da NBR 6118 (ABNT, 2023).

### **2.7.2 Aplicação prática das ferramentas *Lovable* e *Supabase* no contexto laboratorial**

Vem impactando significativamente os ambientes laboratoriais a transformação digital, particularmente quanto à gestão de dados experimentais, rastreabilidade de amostras e automação de processos. Nesse contexto, demonstra Nogueira (2025) as ferramentas modernas como *Lovable* e *Supabase* surgem como soluções tecnológicas capazes de integrar em único ambiente interfaces, bancos de dados e automação. Tais plataformas possibilitam a criação de sistemas digitais eficazes, com o objetivo de reduzir os erros humanos, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos dados laboratoriais.

A utilização conjunta do *Lovable* com o *Supabase* nos laboratórios, especificamente aqueles voltados ao controle tecnológico de materiais como o concreto, onde há uma necessidade constante de registro, armazenamento e análise de dados experimentais possibilita a construção de sistemas personalizados com foco no controle de corpos de prova, ensaios e resultados de resistência (Silva, 2025).

Essa integração esclarece Tavares (2025) permite ao usuário criar interfaces intuitivas para inserção de dados, autenticação de usuários, armazenamento de arquivos e execução de funções automatizadas em tempo real, assim enquanto o *Supabase* gerencia automaticamente o banco de dados, garantindo armazenamento seguro e estruturado, o *Lovable* orientada por inteligência artificial permite o desenvolvimento de aplicações completas por meio de

comandos em linguagem natural, integrando *frontend* e *backend* de forma automatizada. Isso significa na prática que os laboratórios podem desenvolver um sistema onde:

- Técnicos registram ensaios diretamente em um aplicativo;
- Os dados são armazenados automaticamente em banco de dados estruturado;
- Resultados são atualizados em tempo real;
- Relatórios são gerados automaticamente.

Esse tipo de sistema conforme Monutti (2026) anula os processos manuais, diminuindo significativamente a probabilidade de erros operacionais. A aplicação dessas ferramentas traz como um dos principais benefícios para o contexto laboratorial a automação dos processos e a melhoria da qualidade dos dados. A utilização do *Lovable* torna possível produzir automaticamente fluxos de trabalho, tabelas de banco de dados e funcionalidades específicas a partir de simples comandos textuais, assim é reduzida a dependência de desenvolvimento manual e acelerada a implementação de sistemas digitais.

Considerado, nos laboratórios como aspectos mais críticos é a rastreabilidade e o controle das amostras, desse modo o uso do *Supabase* vem possibilitar o armazenamento estruturado de informações como origem da amostra, data de coleta, condições de armazenamento e resultados de ensaios, apoiada pelo *Lovable* que cria interfaces capazes de organizar essas informações de forma visual e acessível, facilitando auditorias e análises históricas (Tavares, 2025).

Um ponto importante mostrado por Monutti (2026) é a sincronização em tempo real permitindo aos diferentes setores do laboratório acessar os dados simultaneamente gerando uma maior integração operacional. A rastreabilidade digital é essencial para assegurar a confiabilidade dos resultados, atender as normas técnicas e facilitar a repetição de experimentos quando necessário.

Nesse cenário, os estudos de Silva (2025) apontam que a implementação dessas ferramentas também impacta diretamente na eficiência operacional dos laboratórios, pois quando eliminado os processos manuais, como registros em papel ou planilhas dispersas, isso gera uma redução significativa no tempo de execução das atividades e nos custos operacionais.

Em conformidade com a documentação técnica das plataformas, a união entre o *Lovable* e *Supabase* oportuniza a construção de sistemas completos sem necessidade de infraestrutura complexa, isto posto, que o *backend* é totalmente gerenciado na nuvem, permitindo assim, reduzir os custos com manutenção, servidores e desenvolvimento (Nogueira, 2025).

Outra questão importante, esclarece Silva (2025) é a facilidade quanto a utilização dessas ferramentas democratizando com isso o acesso à tecnologia e ainda possibilitando que profissionais mesmo sem formação em programação possam desenvolver soluções digitais adequadas às necessidades essenciais do laboratório.

Após as informações apresentados, compreende-se que a aplicação de ferramentas digitais com base na automação e em inteligência artificial, como as propostas no contexto de novas tecnologias laboratoriais, evidenciam uma transformação na rotina laboratorial com foco na eficiência operacional, na rastreabilidade, na automação e na confiabilidade.

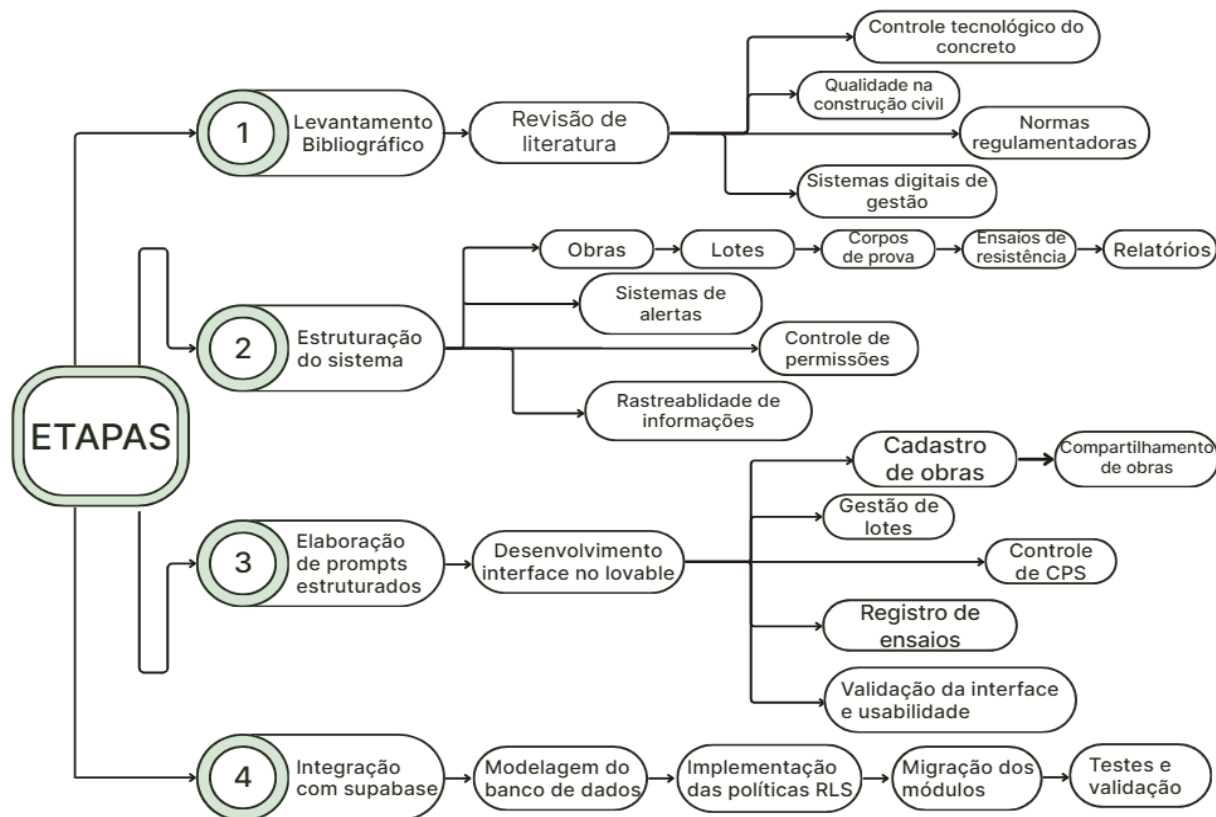
### 3 MÉTODOS

Com a finalidade de atingir o objetivo proposto, esta pesquisa adotou uma abordagem aplicada e de desenvolvimento experimental. A presente pesquisa teve como característica central o desenvolvimento de um sistema *web* estruturado para atender demandas reais de organização, rastreabilidade e gestão de dados relacionados ao controle tecnológico de corpos de prova e ensaios de resistência à compressão do concreto. Este processo contemplou etapas de análise, concepção, modelagem, desenvolvimento assistido por inteligência artificial e validação funcional da ferramenta digital, em conformidade com as exigências normativas estabelecidas pelas normas NBR 5738, NBR 5739 e NBR 12655 (ABNT 5738, 2015; ABNT 5739, 2018; ABNT 12655, 2022).

Dessa forma, o sistema proposto atua como um elemento alinhado às expectativas tecnológicas, garantindo que os processos de controle sigam padrões técnicos reconhecidos.

Assim, sendo o sistema desenvolvido neste estudo, teve como base o fluxograma apresentado na Figura 1 que demonstra as etapas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento do sistema de controle tecnológico do concreto. O processo envolveu revisão bibliográfica, estruturação das funcionalidades do sistema, desenvolvimento da interface, integração com bancos de dados e realização de testes operacionais. Dessa forma, o fluxograma a seguir, sintetiza as principais etapas executadas para alcançar o objetivo geral da pesquisa.

Figura 1- Fluxograma do Sistema desenvolvido.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A partir das etapas apresentadas no fluxograma, torna-se possível compreender de forma organizada o processo metodológico adotado para o desenvolvimento do sistema de gestão voltado ao controle tecnológico do concreto. As atividades realizadas envolveram desde o levantamento teórico até a modelagem, desenvolvimento e testes do sistema, permitindo estruturar uma pesquisa aplicada com foco na melhoria do gerenciamento de corpos de prova e ensaios de resistência à compressão. Nesse contexto, o item a seguir apresenta a caracterização e a abordagem da pesquisa, evidenciando os métodos e procedimentos utilizados para a execução do estudo.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO E ABORDAGEM DA PESQUISA

A pesquisa ora desenvolvida possui natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa que conforme Gil (2022) aquela considera a relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito que não pode ser traduzida em números, enquanto esta traduz em números opiniões e informações para analisá-las. É classificada como exploratória, descritiva, pois sua finalidade busca compreender os processos de controle tecnológico do concreto e propor uma

solução tecnológica para sua melhoria. Sua abordagem é experimental, considerando o desenvolvimento e validação de um sistema funcional.

Esse estudo fundamentou-se nas diretrizes das normas NBR 12655, NBR 5738 e NBR 5739, garantindo que a ferramenta desenvolvida esteja alinhada às exigências técnicas da engenharia civil, objetivando assegurar que o sistema atenda às necessidades reais dos usuários finais. Portanto, os procedimentos implementados no sistema desenvolvido na pesquisa seguem rigorosamente as prescrições normativas vigentes. O controle de qualidade do concreto de acordo com as NBR 12655, NBR 5738 e NBR 5739, envolvem desde a moldagem normatizada dos corpos de prova até o ensaio de compressão e a análise estatística para aceite do lote (Medeiros; Andrade; Helene, 2022).

A pesquisa adota ainda uma perspectiva tecnológica aplicada à engenharia civil, mediante sua proposta em utilizar sistema digital como ferramenta de apoio ao controle tecnológico do concreto. Esse método possibilitou integrar conceitos de engenharia de *software* com práticas laboratoriais, permitindo uma maior eficiência na gestão das informações e favorecendo a padronização dos processos. Dessa maneira, o estudo ultrapassa a análise teórica, ao ofertar uma solução prática direcionada à melhoria das atividades desenvolvidas em campo e em laboratório.

Outra questão essencial sobre a caracterização da pesquisa está relacionada à sua contribuição para a melhoria da qualidade dos dados experimentais, ou seja, quando se utiliza um sistema digital estruturado, tem-se como benefícios redução na incidência de erros humanos, perdas de informação e inconsistências nos registros, problemas geralmente associados a métodos manuais. Nesse cenário, o estudo se alinha também aos princípios de gestão da qualidade, ao favorecer a rastreabilidade, a confiabilidade e a integridade das informações, aspectos essenciais para a validação dos resultados obtidos nos ensaios de concreto.

Por fim, destaca-se que a pesquisa possui caráter inovador ao incorporar o uso de inteligência artificial no processo de desenvolvimento da solução proposta, pois o uso dessa tecnologia permite maior agilidade no desenvolvimento e adaptação de um sistema, contribuindo ainda para a estruturação lógica das funcionalidades. Isto posto, percebe-se que a pesquisa não apenas atendeu às exigências normativas aplicáveis ao controle tecnológico do concreto, mas também evidenciou o potencial das tecnologias emergentes como ferramentas de apoio à engenharia, amplificando as possibilidades de modernização e otimização dos processos técnicos.

### 3.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO ATUAL DE CONTROLE TECNOLÓGICO

O levantamento das práticas tradicionais utilizadas no controle tecnológico do concreto, foi realizado nesta etapa, incluindo o registro manual de dados, controle de corpos de prova e execução de ensaios laboratoriais.

Observou-se que devido à ausência de sistemas digitalizados muitos processos ainda apresentam falhas relacionadas à rastreabilidade, confiabilidade, organização das informações e possibilidade de erros humanos. As normas NBR 5738 e NBR 5739 reforçam a necessidade e a importância de sistemas digitais que garantam a correta identificação e o controle rigoroso dos corpos de prova no processo. Foram identificadas também dificuldades quanto ao cumprimento dos prazos de rompimento e na organização dos dados, impactando diretamente na qualidade do controle tecnológico, conforme previsto na NBR 12655 (ABNT 5738, 2015; ABNT 5739, 2018; ABNT 12655, 2022).

Identificou-se ainda que o processo manual apresenta limitações significativas com relação a integração das informações, por serem os dados frequentemente registrados em formatos diferentes como planilhas, formulários físicos e anotações informais, essa fragmentação dificulta a consolidação dos dados, aumentando os riscos de inconsistência e comprometendo a análise de resultados e a tomada de decisão. Nesse cenário, a ausência de um sistema integrado prejudica o controle eficiente das etapas do processo.

Outra questão crítica observada foi a dificuldade no acompanhamento do histórico dos corpos de prova ao longo do seu ciclo de vida, neste caso a falta de padronização na identificação e no registro das amostras compromete a rastreabilidade, tornando mais complexa a verificação das condições de moldagem, cura e ensaio, segundo a NBR 5738 a padronização é fundamental para assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos (ABNT, 2015).

### 3.3 LEVANTAMENTO DE REQUISITO DO SISTEMA

Foi realizado com base nas necessidades identificadas no processo atual e nas exigências normativas um levantamento de requisitos, dentre os quais foram definidos como requisitos funcionais e não funcionais destinados à melhoria da organização, rastreabilidade e confiabilidade dos dados.

Quanto aos principais requisitos definidos, destacam-se: cadastro e rastreabilidade de corpos de prova, registro de lotes de concreto e valores de  $f_{ck}$ , controle e registro de ensaios

de compressão, organização dos dados conforme idade do concreto, geração de relatórios e controle de acesso e permissões. Tais requisitos foram estruturados, com a finalidade de atender às diretrizes da NBR 12655, garantindo que o sistema auxilie no atendimento aos critérios de aceitação e controle do concreto.

Na definição dos requisitos também se considerou a necessidade de integração entre as diferentes etapas do controle tecnológico do concreto, isso garante a fluência das informações de forma estruturada e contínua durante todo processo. Essa integração oportuniza o acompanhamento completo dos dados, desde o registro do lote até a realização dos ensaios, contribuindo para maior eficiência operacional e redução de inconsistências nos registros.

Adicionalmente, foram definidos ainda requisitos direcionados a automação de processos, visando reduzir a dependência de controles manuais e minimizar a ocorrência de erros, entre essas funcionalidades estão: o cálculo automático da resistência à compressão, o controle de prazos para a realização dos ensaios e a geração de relatórios padronizados, tudo isso favorece para uma maior confiabilidade dos resultados e para a melhoria do desempenho das atividades laboratoriais.

Portanto, percebe-se que inicialmente realizou-se a definição conceitual do sistema, levando em consideração os aspectos que contribuem para a melhoria do controle de qualidade e da gestão em obras. Foi desenvolvido também uma solução capaz de auxiliar na organização das informações, no controle dos dados e da qualidade do concreto, no aumento da confiabilidade dos registros e na agilidade do gerenciamento dos corpos de prova de concreto.

Após essa etapa, modelou-se a estrutura do sistema, englobando a definição das informações que deveriam ser armazenadas, bem como as regras de funcionamento, interfaces, janelas e fluxos de navegação, assim, foi elaborada toda a lógica estrutural para a implementação de um banco de dados real definitivo, contemplando entidades, relacionamentos e regras de negócio. Dessa forma, foram estabelecidas as bases conceituais e estruturais necessárias para o desenvolvimento da solução proposta.

### 3.4 MODELAGEM DO SISTEMA

Em conformidade com os requisitos levantados, foi realizada inicialmente a estruturação conceitual do sistema por meio de um documento contendo as funcionalidades, regras de negócio, tipos de usuários, fluxos operacionais e organização geral da aplicação.

Essa etapa teve como objetivo definir previamente o comportamento esperado do sistema e orientar o desenvolvimento da interface.

A partir dessa estrutura inicial, foi elaborado um PRD (*Product Requirements Document*) detalhado, contendo informações relacionadas às funcionalidades do sistema, perfis de usuários, navegação, experiência do usuário e organização das telas. O PRD foi utilizado como base para o desenvolvimento da interface na plataforma *Lovable*, utilizando uma abordagem *UI-First*, na qual a interface e os fluxos da aplicação são desenvolvidos antes da implementação completa do *backend*.

Inicialmente, o sistema foi desenvolvido utilizando dados simulados e armazenamento local, permitindo validar a navegação, usabilidade e funcionamento das funcionalidades implementadas. Durante essa etapa, foram realizados diversos refinamentos e melhorias incrementais, incluindo funcionalidades que surgiram ao longo do desenvolvimento, como o módulo de laboratório e o sistema de gerenciamento de permissões.

Após a validação da interface, iniciou-se a implementação gradual do *backend* utilizando o *Supabase*. A integração foi realizada em fases, permitindo maior segurança, organização e controle durante a migração dos dados e funcionalidades.

O banco de dados foi estruturado considerando as principais entidades do sistema, incluindo obras, lotes, corpos de prova, ensaios, relatórios, equipamentos, usuários e auditorias. Também foram implementadas políticas de segurança utilizando *Row Level Security* (RLS), responsáveis pelo controle de acesso às informações conforme o perfil e permissões de cada usuário.

Essa abordagem permitiu desenvolver o sistema de forma iterativa e progressiva, possibilitando constantes ajustes, melhorias de usabilidade e evolução das funcionalidades ao longo do projeto.

### 3.5 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE GESTÃO

O desenvolvimento do sistema ocorreu como aplicação web utilizando a plataforma *Lovable*, com suporte de inteligência artificial para geração de estrutura e funcionalidades, logo, a criação dessa ferramenta digital seguiu uma abordagem iterativa, possibilitando melhorias contínuas. Desse modo, o sistema contempla módulos como: gestão de obras, controle de lotes, cadastro de corpos de prova e registro de ensaios.

Portanto, compreende-se que o sistema foi projetado visando garantir aderência às normas NBR 5738 e NBR 5739, assegurando que os dados sejam organizados conforme as

exigências técnicas.

### 3.5.1 Implementação do sistema

O sistema foi desenvolvido como uma aplicação web responsiva utilizando a plataforma *Lovable*, adotando uma abordagem *UI-First* para construção das interfaces e fluxos de navegação da aplicação. Inicialmente, o sistema foi estruturado utilizando dados simulados e armazenamento local, permitindo validar funcionalidades, usabilidade e organização das telas antes da implementação completa do *backend*.

Posteriormente, foi realizada a integração com o *Supabase*, plataforma utilizada para implementação do *backend*, autenticação de usuários e persistência dos dados em banco relacional *PostgreSQL*. A integração ocorreu de forma gradual, dividida em etapas, permitindo maior controle e segurança durante a migração das funcionalidades para o banco de dados definitivo.

Durante essa etapa, foram implementadas as principais regras de negócio relacionadas ao controle tecnológico do concreto, incluindo funcionalidades como gerenciamento de obras, controle de lotes de concreto, rastreabilidade dos corpos de prova, registro e acompanhamento dos ensaios de compressão, geração de relatórios técnicos e controle de rompimentos previstos. O sistema também passou a contar com diferentes níveis de permissões entre técnicos e clientes, auditoria das ações realizadas, rastreabilidade dos relatórios emitidos e armazenamento das informações em nuvem. Além disso, foram desenvolvidos mecanismos de alertas operacionais para identificação de rompimentos atrasados, resistência abaixo do *fck* especificado, alta variabilidade dos resultados, *slump* fora da faixa e calibração vencida de equipamentos. Para reforçar a segurança e integridade das informações armazenadas, foram implementadas políticas de controle de acesso utilizando *Row Level Security* (RLS), responsáveis por restringir o acesso aos dados conforme o perfil e as permissões de cada usuário no sistema.

Além disso, foram desenvolvidas regras automáticas para cálculo de resistência à compressão, média das resistências, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), *fck* estimado e verificação de conformidade dos lotes, seguindo critérios utilizados no controle tecnológico do concreto e alinhados às recomendações da NBR 5739 e NBR 12655.

Também foram implementadas funcionalidades de controle de rompimentos previstos, identificação de corpos de prova atrasados, central de alertas e geração automatizada de relatórios técnicos contendo informações da obra, lotes, ensaios, equipamentos utilizados,

conclusão técnica e assinatura digital de rastreabilidade.

### 3.5.2 Estratégia de desenvolvimento do sistema

O desenvolvimento do sistema seguiu sempre uma estratégia iterativa, possibilitando a constante evolução das funcionalidades a partir da realização de testes e ajustes sucessivos. Essa abordagem permite ainda uma maior flexibilidade no desenvolvimento, assegurando que o sistema seja progressivamente adaptado às necessidades identificadas ao longo do processo.

Dessa maneira, durante o desenvolvimento as principais etapas incluídas foram o levantamento das necessidades do sistema com base em práticas reais de obras, a definição das funcionalidades primordiais como o controle de obras, lotes, corpos de prova e ensaios, a estruturação da lógica de funcionamento, o desenvolvimento da interface e dos fluxos do sistema, assim como a realização de testes práticos e o refinamento da experiência do usuário.

O desenvolvimento da aplicação foi realizado utilizando a plataforma *Lovable*, ferramenta baseada em inteligência artificial voltada à construção de aplicações web por meio de instruções textuais estruturadas. A utilização dessa plataforma possibilitou maior agilidade no processo de desenvolvimento, permitindo a implementação de funcionalidades, componentes visuais e fluxos operacionais sem a necessidade de programação tradicional intensiva.

A plataforma foi empregada na construção da interface gráfica do sistema, na organização da navegação entre telas e na implementação das funcionalidades descritas nos *prompts* e que estão relacionadas ao gerenciamento laboratorial. Além disso, possibilitou a criação de componentes interativos, como janelas modais, mecanismos de navegação dinâmica e estruturas de controle de fluxo da aplicação.

A adoção desta tecnologia ocorreu em função de sua capacidade de traduzir instruções textuais em funcionalidades reais, permitir o desenvolvimento sem necessidade de programação tradicional intensiva o que favoreceu a prototipação evolutiva do sistema e a facilidade em realizar ajustes contínuos e rápidos no sistema, promovendo a validação incremental das funcionalidades implementadas.

### 3.5.3 Desenvolvimento assistido por inteligência artificial

A característica central da pesquisa foi a utilização de ferramentas de inteligência artificial em apoio ao desenvolvimento do sistema. Foram utilizados *prompts* estruturados

para a definição das funcionalidades que se pretendia alcançar, sendo estas regras de negócio e comportamento da interface do sistema, permitindo a construção lógica de aspectos como definição de regras de autenticação, criação lógica de permissões por obra, estruturação de fluxos de navegação e implementação de funcionalidade de cadastro de obras, sistema de convites, gestão de lotes e controle de corpos de prova.

A utilização de inteligência artificial contribui para a aceleração do desenvolvimento, melhoria da organização lógica do sistema e redução de erros de implementação, tornando com isso o processo mais eficiente e estruturado.

### 3.5.4 Especificação do sistema

Nesta etapa foi realizada a especificação do sistema, através da elaboração de um documento de requisitos do produto PRD (*Product Requirements Document*) contendo: a definição dos objetivos, funcionalidades principais, tipos de usuários e papéis, estrutura de navegação, estilo e *design*. Esse documento serviu como base para a construção e organização da aplicação, garantindo alinhamento entre os requisitos levantados e a implementação do sistema.

O objetivo, neste cenário, após a geração do PRD foi a criação de toda a interface inicial do sistema que teve por base a utilização de inteligência artificial do ChatGPT e o *Lovable* responsável pela geração das telas, componentes, fluxos de navegação, UX completos e elementos de interação. Essa etapa evidenciou a eficiência da abordagem em inteligência artificial no desenvolvimento de aplicações, especificamente na fase inicial da prototipagem.

A especificação do sistema possui uma estrutura funcional de aplicação, organizada de forma modular objetivando facilitar a manutenção, escalabilidade e gerenciamento das funcionalidades implementadas. Essa abordagem permite aos diferentes componentes do sistema operarem de maneira integrada, contribuindo para maior organização das informações e eficiência operacional no controle tecnológico do concreto.

Entre os módulos definidos está o módulo de autenticação, responsável pelas funcionalidades de cadastro, *login* e controle de sessão dos usuários, garantindo segurança no acesso às informações. Também foi especificado o módulo de gestão de obras, destinado ao cadastramento, edição e seleção de obra ativa, permitindo melhor controle das atividades laboratoriais relacionadas a cada empreendimento.

Além disso, o sistema contempla mecanismos de compartilhamento de acesso entre

usuários vinculados à mesma obra, por meio de um módulo de convites e gerenciamento de permissões, possibilitando o controle dos níveis de acesso e das operações permitidas para cada perfil de usuário dentro da aplicação, favorecendo a segurança e organização dos dados armazenados.

No contexto do controle tecnológico, foram especificados módulos voltados ao gerenciamento dos lotes de concreto, cadastro dos corpos de prova e registro dos ensaios realizados. O módulo de lotes foi estruturado para armazenar informações referentes às concretagens e aos valores de resistência característica do concreto  $f_{ck}$ , enquanto o módulo de corpos de prova possibilitou a identificação, rastreabilidade e associação das amostras ao longo das etapas laboratoriais, em conformidade com as exigências da NBR 5738.

Complementando essas funcionalidades, o módulo de ensaios foi especificado para registrar os resultados obtidos durante os testes de resistência à compressão, permitindo maior organização e padronização das informações experimentais. Essa estrutura contribui para o atendimento dos critérios estabelecidos pela NBR 5739 e reforça o papel do sistema como ferramenta de apoio ao controle tecnológico e à rastreabilidade dos dados laboratoriais.

### **3.5.5 Interface e usabilidade do sistema**

A interface da aplicação foi desenvolvida com foco em usabilidade, acessibilidade operacional e melhoria da experiência do usuário. Para isso, foram implementados mecanismos de janelas modais (pop-ups) para cadastro e visualização de dados, navegação dinâmica entre telas e componentes interativos capazes de minimizar recarregamentos constantes da aplicação, tudo isso, proporcionou maior fluidez durante a utilização do sistema.

Também foram aplicadas melhorias específicas relacionadas à manutenção do estado das telas ao navegar entre as páginas, correção de problemas de rolagem e preservação do contexto do usuário. Essas estratégias contribuíram para maior eficiência operacional, redução de dificuldades de utilização e otimização das atividades relacionadas ao gerenciamento laboratorial e controle tecnológico do concreto.

### **3.5.6 Modelagem de dados e infraestrutura *backend***

Após a estruturação do sistema com foco no *frontend* e na lógica funcional da aplicação, realizou-se a integração do *Lovable* com o *Supabase* para implementação da camada de persistência de dados e infraestrutura *backend*. Adotou-se essa estratégia devido à

complexidade e a quantidade de informações presente no sistema, tornando com isso, o processo mais seguro, organizado e fácil de validar durante o seu desenvolvimento.

A arquitetura proposta prevê a utilização de armazenamento de dados em banco relacional *PostgreSQL*, autenticação de usuários, gerenciamento de permissões e integração por meio de APIs automáticas disponibilizadas pela plataforma. Essa abordagem visa proporcionar maior segurança, confiabilidade e escalabilidade à aplicação desenvolvida.

A escolha do *Supabase* ocorreu devido à sua compatibilidade com aplicações web modernas, facilidade de integração e capacidade de gerenciamento estruturado das informações laboratoriais armazenadas no sistema.

### 3.5.7 Limitações e evolução do sistema

Na fase de refinamento da construção do sistema digital, realizou-se algumas melhorias na interface, ajustes de usabilidade e adição de novas funcionalidades, estes aspectos são definidos com base na análise do uso do sistema e na identificação de oportunidades para aumentar a facilidade de uso e a confiabilidade das informações.

Um fator que impactou diretamente o desenvolvimento do sistema foi a limitação de recursos disponíveis na plataforma de prototipagem utilizada, a *Lovable*. Em sua versão gratuita, a ferramenta disponibiliza um número restrito de créditos diários e mensais, embora isso seja uma opção viável para testes iniciais, influenciou significativamente no ritmo de implementação das funcionalidades e a evolução da aplicação ao longo do projeto.

Inicialmente, a disponibilização de créditos adicionais no momento da criação da conta permitiu a execução do documento de requisitos do produto PRD e a geração da estrutura inicial do sistema. No entanto, a limitação dos créditos no plano gratuito impossibilitou a implementação completa da solução em uma única etapa, exigindo a adoção de um processo incremental de desenvolvimento.

Dessa forma, os créditos disponíveis foram utilizados prioritariamente para a realização de ajustes progressivos, melhorias na interface e inclusão de novas funcionalidades. Contudo, diante da necessidade de maior agilidade no desenvolvimento e da complexidade crescente do sistema, optou-se pela migração para um plano pago, que oferece maior disponibilidade de recursos e maior capacidade de processamento.

Com a ampliação dos recursos disponíveis, foi possível acelerar o desenvolvimento do sistema, especialmente na etapa de refinamento da interface e melhoria da usabilidade. Esse avanço contribuiu para a consolidação da estrutura da aplicação e da integração com outra

plataforma tecnológica complementar, o *Supabase*, responsável pela implementação do *backend*, persistência dos dados e autenticação de usuários. Essa integração permitiu a consolidação do sistema como uma solução mais completa e aplicável aos contextos reais da engenharia civil.

Quanto aos testes realizados estes ocorreram em ambiente controlado, sendo executado pelos próprios desenvolvedores com o objetivo de verificar o funcionamento dos módulos, identificando as inconsistências e corrigindo as falhas operacionais que foram observadas durante a utilização da aplicação.

Por fim, destaca-se que a utilização combinada de diferentes ferramentas tecnológicas, aliada à abordagem incremental, permitiu a evolução contínua do sistema, resultando em uma solução mais robusta, organizada e adequada às necessidades do controle tecnológico do concreto.

### 3.6 PROCEDIMENTO DE TESTE E VALIDAÇÃO

Durante o desenvolvimento da aplicação do sistema, realizaram-se alguns testes funcionais com a finalidade de verificar o comportamento das funcionalidades implementadas e identificar possíveis inconsistências operacionais. Esses testes foram conduzidos de forma incremental, acompanhando a evolução dos módulos desenvolvidos, possibilitando dessa maneira validar o funcionamento dos fluxos de navegação, mecanismos de cadastro, gerenciamento de informações e interações entre os componentes da interface do sistema.

Portanto, as validações ocorreram em ambiente controlado, utilizando dados simulados para reprodução das operações relacionadas ao controle tecnológico do concreto. Nessa etapa, foram analisados aspectos relacionados à estabilidade da interface, integridade das informações exibidas, consistência dos fluxos operacionais e usabilidade da aplicação. A realização desses testes permitiu a identificação de ajustes necessários na estrutura funcional do sistema, contribuindo para o refinamento das funcionalidades e melhoria da experiência de utilização.

Além dos testes operacionais, foram realizados também processos contínuos de validação da lógica de funcionamento da aplicação, especificamente nos módulos de controle de obras, lotes, corpos de prova e gerenciamento de permissões de usuários.

Essas abordagens permitiram verificar a coerência das regras implementadas, bem como avaliar o comportamento da aplicação diante das intenções executadas durante o uso do sistema. Os resultados obtidos contribuíram para aumentar a confiabilidade da aplicação e

favorecer subsídios para futuras melhorias, refinamentos funcionais e realização de testes em ambiente real.

### 3.7 ANÁLISES DOS DADOS

A análise dos dados obtidos durante o desenvolvimento do sistema demonstra que a utilização de uma abordagem digital para o gerenciamento de corpos de prova de concreto contribui significativamente para a organização das informações laboratoriais e para a padronização dos processos operacionais. A estrutura desenvolvida possibilitou centralizar dados relacionados às obras, lotes, ensaios e amostras, reduzindo a dispersão de informações e favorecendo maior controle sobre os registros realizados ao longo das atividades laboratoriais.

Os testes realizados evidenciaram também melhorias na rastreabilidade das informações e na agilidade de execução das operações dentro do sistema. Funcionalidades como cadastro de obras, gerenciamento de lotes, controle de corpos de prova e registro de ensaios apresentaram comportamento satisfatório durante as validações iniciais, permitindo maior facilidade no acompanhamento das informações e redução de inconsistências associadas a controles manuais. Além disso, a organização modular da aplicação favoreceu a manutenção e evolução contínua das funcionalidades implementadas.

Outro aspecto observado durante a análise dos resultados refere-se à contribuição das ferramentas baseadas em inteligência artificial no processo de desenvolvimento da aplicação. A utilização da plataforma *Lovable* associada ao suporte do ChatGPT possibilitou maior rapidez na construção da interface, na estruturação dos fluxos operacionais e na implementação das funcionalidades iniciais do sistema, além disso a integração com o *Supabase*, permitiu a implementação da camada de persistência de dados, autenticação e o gerenciamento das informações armazenadas no sistema.

Essa abordagem possibilitou, especialmente acelerar as etapas de prototipação e refinamento da aplicação, demonstrando o potencial da utilização das tecnologias assistidas por inteligência artificial no desenvolvimento de soluções digitais voltadas à gestão laboratorial e ao controle tecnológico do concreto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente pesquisa surgiu da necessidade de compreender como a utilização de tecnologias digitais pode contribuir para a melhoria do gerenciamento do controle tecnológico do concreto em laboratórios e obras da construção civil. A questão de pesquisa fundamenta-se na identificação das dificuldades enfrentadas em processos realizados manualmente, como falhas no armazenamento de informações, ausência de rastreabilidade adequada, demora na recuperação de dados e maior probabilidade de erros operacionais durante o acompanhamento dos ensaios laboratoriais.

Nesse contexto, a pesquisa torna-se relevante por abordar a aplicação de soluções tecnológicas voltadas à automação e organização de processos técnicos, contribuindo para maior eficiência operacional e confiabilidade das informações relacionadas ao controle tecnológico do concreto. Dessa forma, busca-se demonstrar como o desenvolvimento de um sistema *web* pode auxiliar na gestão de lotes, corpos de prova, ensaios e relatórios técnicos, promovendo maior rastreabilidade, segurança das informações e padronização dos processos laboratoriais na construção civil.

Observa-se que os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do sistema demonstraram que a proposta apresentou viabilidade técnica e funcional para auxiliar o gerenciamento do controle tecnológico do concreto em laboratórios e obras da construção civil. A aplicação desenvolvida permitiu maior organização das informações, automação de processos operacionais e melhoria significativa na rastreabilidade dos ensaios realizados, evidenciando a importância da utilização de tecnologias digitais no gerenciamento de dados técnicos e laboratoriais. Conforme Rocha e Martins (2024) a informatização dos processos operacionais contribui diretamente para a melhoria da eficiência administrativa e técnica das organizações, reduzindo falhas humanas e promovendo maior confiabilidade na gestão das informações.

O sistema foi desenvolvido em ambiente *web* utilizando o *Lovable* no *frontend* e o *Supabase* como *backend* e banco de dados, isso permitiu o armazenamento em nuvem, persistência dos dados, autenticação de usuários e atualização em tempo real das informações registradas. Essa arquitetura possibilitou maior integração entre os setores envolvidos no controle tecnológico do concreto, favorecendo a centralização dos dados e o acompanhamento contínuo dos processos laboratoriais. Como destaca Nogueira (2025) os sistemas *web* integrados oferecem maior flexibilidade operacional, facilidade de acesso remoto e melhor gerenciamento das informações organizacionais, especialmente em ambientes que demandam

controle contínuo de dados técnicos.

Durante os testes e validações do sistema, observou-se que a funcionalidade de gerenciamento de obras, lotes e corpos de prova contribuiu positivamente para a organização do fluxo de informações laboratoriais. Cada lote passou a armazenar dados significativos relacionados ao concreto, como resistência característica (*fck*), *slump*, fornecedor, traço, peça concretada, volume lançado, tipo de lançamento e data de moldagem. Essa estruturação possibilitou uma melhor rastreabilidade quanto aos ensaios realizados e facilitou a recuperação das informações técnicas referentes aos corpos de prova. Segundo Lopes (2020) os sistemas de informação aplicados à gestão operacional promovem maior controle dos processos e permitem melhor monitoramento das atividades executadas dentro das organizações. Conforme, observado a seguir, a Figura 2 apresenta a interface desenvolvida para o cadastro dos lotes de concreto no sistema.

Figura 2 - Tela de cadastro de lote de concreto do sistema desenvolvido.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 2 apresenta a interface da tela de cadastro de lotes de concreto desenvolvido no sistema. Por meio dessa funcionalidade, é possível registrar informações técnicas relevantes para o controle tecnológico, como data da concretagem, fornecedor, tipo de lançamento, volume concretado, *slump*, temperatura do concreto, resistência característica à

compressão (*fck*), peça concretada e traço utilizado. A centralização dessas informações em ambientes digitais contribui para padronização dos registros, maior rastreabilidade dos lotes e melhor controle dos dados relacionados aos ensaios laboratoriais. Desse modo, apontam Silva e Oliveira (2021) os sistemas de informação aplicados à gestão operacional permitem maior controle dos processos e melhor organização dos dados, favorecendo a tomada de decisão e a confiabilidade das informações.

Dessa forma, compreende-se que a funcionalidade implementada representa um avanço em relação aos métodos tradicionais de registro, promovendo maior eficiência e segurança no gerenciamento do controle tecnológico do concreto. Além de facilitar o armazenamento e a recuperação das informações, o sistema contribui para a redução de erros associados ao preenchimento manual de documentos e planilhas, aumentando a confiabilidade dos dados utilizados nas análises laboratoriais.

Após o registro das informações do lote de concreto, o sistema avança para a etapa de gerenciamento automatizado dos corpos de prova, elemento fundamental para o acompanhamento dos ensaios realizados no controle tecnológico. Essa integração entre lote e amostras permite manter a rastreabilidade das informações ao longo de todo processo, desde a concretagem até a emissão dos resultados. A Figura 3 apresenta a interface desenvolvida para essa funcionalidade.

Figura 3 - Cadastro dos corpos de prova.

**Cadastro de Corpos de Prova** — 02238349-0196-4546-9698-5d832152d151

Concretagem: 25/05/2026 - 3 CPs

| # | Idade (dias) | Tipo  | Data Prevista |
|---|--------------|-------|---------------|
| 1 | 7            | 10x20 | 01/06/26      |
| 2 | 28           | 10x20 | 22/06/26      |
| 3 | 28           | 10x20 | 22/06/26      |

+ Adicionar CP

**Salvar 3 Corpos de Prova**

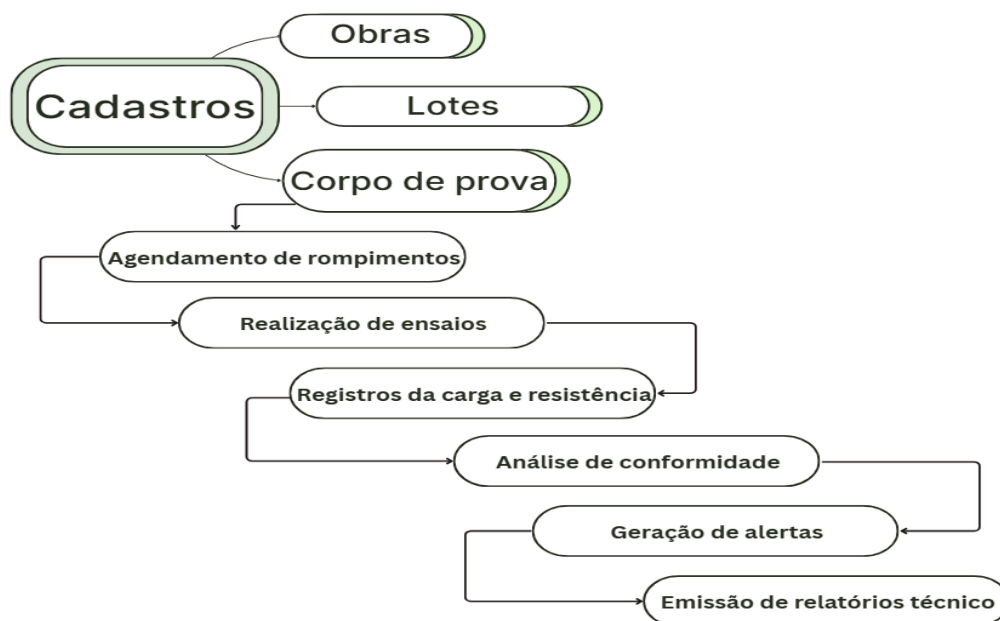
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 3 apresenta a tela de cadastro de corpos de prova implementada no sistema. Por meio dessa funcionalidade, é possível registrar as amostras moldadas para cada lote, definindo características como idade de rompimento, tipo do corpo de prova e visualizar as datas previstas para realização dos ensaios de compressão axial. O registro do tipo do corpo de prova auxilia na sua identificação e organização durante o processo de controle tecnológico, enquanto as dimensões reais são posteriormente registradas no momento da execução dos ensaios. A automatização desse procedimento contribui para uma melhor organização das atividades laboratoriais e para o acompanhamento dos ensaios programados.

Além de facilitar o gerenciamento das amostras, essa funcionalidade fortalece a rastreabilidade dos dados e reduz a possibilidade de erros decorrentes de controles manuais. Justificam Helene e Terzian (2024) o acompanhamento adequado dos corpos de prova é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos no controle tecnológico do concreto. Dessa maneira, o sistema contribui para maior eficiência no monitoramento dos ensaios e na gestão das informações laboratoriais.

De forma complementar, o sistema foi concebido para operar de maneira integrada, permitindo que as informações cadastradas sejam utilizadas ao longo de todas as etapas do controle tecnológico do concreto. Essa integração favorece a continuidade dos processos, reduz a necessidade de retrabalho e contribui para maior consistência dos registros gerados durante as atividades laboratoriais. Ademais, a centralização dos dados em um único ambiente digital possibilita melhor acompanhamento das operações e maior controle sobre as informações armazenadas. Para ilustrar essa dinâmica a Figura 4 apresenta o fluxo operacional das principais etapas executadas pelo sistema desenvolvido.

Figura 4 - Fluxo operacional do sistema de controle tecnológico do concreto.



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Conforme observado, o fluxo contempla desde o cadastramento das informações iniciais até as etapas de ensaio, análise dos resultados e emissão dos relatórios técnicos. Essa organização evidencia interdependência entre os módulos da aplicação e demonstra como os dados são processados ao longo do ciclo de controle tecnológico, contribuindo para maior rastreabilidade e eficiência na gestão das informações.

Verificou-se ainda que a centralização das informações em um único ambiente digital reduziu consideravelmente os problemas relacionados à utilização de planilhas dispersas e registros manuais, realidade ainda presente em muitos laboratórios de controle tecnológico. Esclarece Monutti (2026) que os processos manuais aumentam a probabilidade de inconsistências, perda de informações e dificuldades na padronização documental, tornando necessária a adoção de soluções tecnológicas capazes de otimizar a gestão operacional e documental das empresas. Nesse contexto, os resultados da pesquisa demonstraram que o sistema desenvolvido contribuiu para melhorar a padronização dos registros laboratoriais e a organização dos dados relacionados aos ensaios de concreto.

Para complementar a análise das funcionalidades implementadas, a Tabela 1 apresenta a estrutura geral dos módulos desenvolvidos no sistema, destacando seus respectivos escopos de atuação e finalidades dentro do processo de controle tecnológico do concreto.

Tabela 1 - Estrutura funcional dos módulos do sistema desenvolvido.

| <b>Módulo</b> | <b>Escopo</b>              | <b>Finalidade principal</b>                             |
|---------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| Dashboard     | Por obra                   | Apresentar indicadores gerais do controle tecnológico   |
| Obras         | Por laboratório            | Cadastrar e gerenciar obras vinculadas ao laboratório   |
| Lotes         | Por obra                   | Registrar concretagens, lotes e corpos de prova         |
| Ensaaios      | Por obra                   | Registrar resultados de rompimentos dos corpos de prova |
| Rompimentos   | Todas as obras ou por obra | Acompanhar CPs previstos, próximos e atrasados          |
| Estatísticas  | Por obra                   | Apresentar análises gráficas e indicadores estatísticos |
| Relatórios    | Por obra                   | Gerar, assinar e arquivar relatórios técnicos           |
| Equipamentos  | Por laboratório            | Controlar equipamentos e calibrações                    |
| Alertas       | Por obra                   | Centralizar avisos operacionais e de qualidade          |
| Auditorias    | Por obra                   | Registrar histórico de alterações e ações               |
| Laboratório   | Por laboratório            | Gerenciar dados, membros e convites do laboratório      |
| Configurações | Sistema                    | Gerenciar perfil, preferências e atalhos do usuário     |

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Observa-se que os módulos foram organizados de forma integrada, contemplando desde o cadastro das obras e lotes até a geração de relatórios e auditorias. Essa estrutura favorece a centralização das informações e contribui para a rastreabilidade dos processos executados no ambiente laboratorial.

Outro resultado relevante identificado durante o desenvolvimento do sistema foi a automação dos cálculos estatísticos relacionados aos ensaios de compressão axial do concreto. A aplicação passou a realizar automaticamente cálculos de resistência dos corpos de prova, médias estatísticas, desvio padrão, coeficiente de variação (CV), estimativa do  $f_{ck}$  e verificação da conformidade dos lotes conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 12655.

Além disso, o sistema diferencia ensaios intermediários dos resultados conclusivos de 28 dias, alinhando-se às práticas utilizadas no controle tecnológico do concreto. Para Pereira

(2021) a automação de cálculos técnicos reduz significativamente erros operacionais causados pela intervenção humana, aumentando a precisão dos resultados e fortalecendo a confiabilidade das análises laboratoriais.

A implementação dessas funcionalidades demonstrou importante contribuição para a melhoria da qualidade dos processos laboratoriais, pois os cálculos realizados manualmente normalmente demandam maior tempo operacional e apresentam maior suscetibilidade a falhas. Desse modo, afirmam Tavares (2025), sistemas informatizados aplicados à automação de processos técnicos favorecem maior precisão operacional, padronização das atividades e aumento da produtividade organizacional. Logo, verificou-se que a automação implementada no sistema contribuiu diretamente para otimizar o controle tecnológico do concreto e melhorar o gerenciamento dos ensaios laboratoriais.

Além da estrutura geral da aplicação, é importante destacar as funcionalidades disponibilizadas em cada módulo desenvolvido. A Tabela 2 apresenta os principais recursos implementados e sua contribuição para a execução das atividades relacionadas ao controle tecnológico do concreto.

Tabela 2 - Funcionalidades por módulo do sistema.

| Módulo       | Principais funcionalidades                                                                                  |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dashboard    | Indicadores de resistência média, conformidade dos lotes, CPs do dia, gráficos e estatísticas de 28 dias    |
| Obras        | Cadastro, edição, compartilhamento, seleção e conclusão de obras                                            |
| Lotes        | Cadastro de lotes, <i>slump</i> mínimo/máximo, peça concretada, traço, CPs e status                         |
| Ensaios      | Registro de data, equipamento, dimensões reais, carga máxima, ruptura e capeamento                          |
| Rompimentos  | Filtros por data, obra, <i>fck</i> , lote, fornecedor e status; registro direto de rompimentos              |
| Estatísticas | Gráfico de controle, histograma, evolução de resistência, média, desvio padrão, CV e <i>fck</i> estimado    |
| Relatórios   | Relatórios rápidos, seleção de lotes, assinaturas e arquivamento                                            |
| Equipamentos | Cadastro, edição, calibração, histórico e controle de validade                                              |
| Alertas      | Rompimentos, resistência abaixo do <i>fck</i> , <i>slump</i> fora da faixa, CV elevado e calibração vencida |

|               |                                                                  |
|---------------|------------------------------------------------------------------|
| Laboratório   | Convites, dados do laboratório, membros e convite de técnicos    |
| Configurações | Perfil do usuário, permissões, preferências de alertas e atalhos |

---

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Verifica-se que os módulos contemplam funcionalidades voltadas ao cadastro, monitoramento, análise e emissão de documentos técnicos, permitindo que diferentes etapas do processo sejam realizadas em ambiente integrado. Essa abrangência contribui para maior eficiência operacional e melhor organização das informações laboratoriais.

Os resultados também evidenciaram a importância da implementação da tela de Alertas desenvolvida no sistema. Essa funcionalidade permitiu o gerenciamento automático de situações relevantes relacionadas aos corpos de prova, como rompimentos atrasados, rompimentos programados para o dia, resistência abaixo do *fck* especificado, alta variabilidade estatística dos resultados, *slump* fora da faixa estabelecida e calibração vencida de equipamentos. A presença desses alertas favoreceu maior controle operacional das atividades laboratoriais e auxiliou na tomada de decisões mais rápidas diante de possíveis inconformidades identificadas no processo.

Outro recurso que se mostrou relevante durante o desenvolvimento foi a tela de Rompimentos, criada para centralizar o gerenciamento dos corpos de prova programados para ensaio. Essa funcionalidade permite o monitoramento automático de situações significativas, por meio de filtros como rompimentos do dia, próximos rompimentos, rompimentos atrasados e personalizados por intervalo de datas, *fck*, lote, fornecedor e status. Dessa forma, o sistema contribui para o acompanhamento mais eficiente das atividades do laboratório, facilitando a identificação de corpos de prova que precisam ser rompidos, evitando esquecimentos e auxiliando na redução de atrasos e de falhas operacionais nos ensaios.

Como demonstram as pesquisas de Botelho (2024), os sistemas automatizados de monitoramento possuem papel essencial na melhoria da eficiência organizacional, pois permitem identificar falhas operacionais em tempo real, auxiliando no gerenciamento preventivo das atividades executadas. Nesse cenário, observou-se que a Central de Alertas implementada no sistema contribuiu para reduzir riscos relacionados ao esquecimento de ensaios, atrasos em rompimentos e utilização de equipamentos com calibração vencida, aumentando a confiabilidade do controle tecnológico realizado pelo laboratório.

Foi identificado também nos resultados como um aspecto importante à segurança das informações armazenadas no sistema. Foram implementados mecanismos de autenticação,

controle de permissões e segregação de acesso entre usuários técnicos e clientes. Os usuários técnicos possuem acesso às funcionalidades operacionais da aplicação, incluindo criação e edição de obras, lotes, corpos de prova, ensaios e relatórios técnicos. Já os usuários clientes possuem acesso limitado principalmente à visualização das informações relacionadas às obras compartilhadas. Essa separação de permissões contribuiu para maior segurança e organização operacional do sistema.

Além disso, foram implementadas políticas de segurança utilizando *Row Level Security* (RLS) no *Supabase*, permitindo controle de acesso diretamente no banco de dados. Como mostram as pesquisas apresentadas pelo Autolab (2024) os mecanismos de segurança aplicados em sistemas de informação são essenciais para garantir integridade, confidencialidade e disponibilidade dos dados armazenados, especialmente em aplicações que trabalham com informações técnicas e documentos laboratoriais. Dessa forma, os resultados demonstraram que a utilização de políticas de segurança e controle de permissões fortaleceu a proteção das informações registradas no sistema.

Considerando a necessidade de garantir a segurança e a integridade das informações, a Tabela 3 apresenta os níveis de acesso definidos para os diferentes perfis de usuários do sistema.

Tabela 3 - Níveis de acesso e permissões dos usuários.

| Funcionalidade                          | Técnico | Cliente |
|-----------------------------------------|---------|---------|
| Visualizar obras compartilhadas         | Sim     | Sim     |
| Cadastrar obras                         | Sim     | Não     |
| Cadastrar lotes                         | Sim     | Não     |
| Cadastrar corpos de prova               | Sim     | Não     |
| Registrar ensaios                       | Sim     | Não     |
| Gerar relatórios                        | Sim     | Não     |
| Concluir relatórios                     | Sim     | Não     |
| Arquivar relatórios                     | Não     | Sim     |
| Visualizar relatórios                   | Sim     | Sim     |
| Gerenciar equipamentos                  | Sim     | Não     |
| Acessar auditorias                      | Sim     | Não     |
| Acessar laboratório                     | Sim     | Não     |
| Alterar configurações do próprio perfil | Sim     | Sim     |

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Verifica-se que as permissões foram distribuídas de acordo com as responsabilidades de cada perfil, restringindo funcionalidades operacionais aos usuários técnicos e permitindo aos clientes apenas o acesso às informações compartilhadas. Essa configuração contribui para maior segurança e controle das operações realizadas na plataforma.

No módulo de relatórios técnicos, observou-se significativa melhoria relacionada à automação documental. O sistema passou a gerar automaticamente relatórios contendo identificação do laboratório, dados da obra, lotes, corpos de prova, equipamentos utilizados, resultados estatísticos, conclusão técnica e assinatura digital de rastreabilidade. Além disso, foram implementados *snapshots* imutáveis dos relatórios, garantindo a preservação das informações mesmo após alterações futuras no banco de dados.

Com o objetivo de representar o fluxo de emissão de documentos técnicos na aplicação desenvolvida, a Figura 5 apresenta as principais etapas envolvidas na elaboração, validação e disponibilização dos relatórios aos usuários.

Figura 5 - Processo de geração de relatórios técnicos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Observa-se que o processo foi estruturado de forma sequencial, contemplando desde a seleção de obra e dos lotes até a conclusão e disponibilização do relatório. Além de permitir a

pré-visualização dos resultados, o sistema incorpora mecanismos de assinatura e rastreabilidade que aumentam a confiabilidade dos registros gerados. Após sua conclusão, os relatórios passam a compor o histórico documental da obra, contribuindo para a preservação das informações e para o controle dos processos de qualidade.

Como reforço à integridade documental, também foi implementada a geração de *hash SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256-bit)* nos relatórios concluídos, permitindo maior rastreabilidade e validação dos documentos emitidos. Nesse sentido, esclarecem Rocha e Martins (2024), que os mecanismos criptográficos aplicados à proteção documental aumentam a confiabilidade dos registros digitais e fortalecem a segurança das informações armazenadas em sistemas computacionais. Observou-se ainda que os relatórios assinados se tornam imutáveis após sua conclusão, reduzindo riscos de alterações indevidas e aumentando a confiabilidade dos documentos técnicos emitidos pelo sistema.

Destaca-se também como aspecto significativo apresentado durante o desenvolvimento da aplicação a implementação do sistema de auditoria e rastreabilidade das ações realizadas pelos usuários. O sistema registra automaticamente eventos importantes, como alterações em lotes, ensaios, compartilhamentos de obras, arquivamento de relatórios e calibrações de equipamentos. Essa funcionalidade permitiu maior controle operacional das atividades executadas pelos usuários e maior transparência nas operações realizadas dentro da aplicação. Demonstra Lopes (2020) em seus estudos que os mecanismos de auditoria são fundamentais em sistemas de gerenciamento de informações, pois possibilitam rastrear alterações realizadas nos dados e identificar possíveis inconsistências operacionais.

Além das funcionalidades operacionais, o sistema foi projetado para armazenar e gerenciar diferentes conjuntos de informações técnicas. A Tabela 4 apresenta os principais dados controlados em cada elemento da aplicação.

Tabela 4 - Dados técnicos controlados pelo sistema.

| Elemento       | Dados registrados                                                                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Obra           | Cliente/contratante, nome da obra, localização, responsável, ART, classe ambiental e <i>fck</i>                       |
| Lote           | Data de concretagem, fornecedor, lançamento, volume, <i>slump</i> , temperatura, <i>fck</i> , peça concretada e traço |
| Corpo de prova | ID, idade, tipo, data prevista, dimensões, carga, resistência e status                                                |

|             |                                                                                                |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ensaio      | Data, equipamento, diâmetro real, altura real, carga máxima, ruptura, capeamento e equipamento |
| Equipamento | Nome, modelo, série, capacidade, validade da calibração e histórico                            |
| Relatório   | Obra, lotes, CPs, resultados e assinaturas                                                     |

---

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Os dados demonstram que o sistema contempla informações essenciais para o acompanhamento do controle tecnológico do concreto, permitindo a centralização dos registros e facilitando a consulta, atualização e rastreabilidade dos dados ao longo do ciclo dos ensaios.

Adicionalmente, os resultados obtidos mostram que a integração do sistema ao *Supabase* proporcionou melhorias significativas relacionadas à persistência e integridade dos dados armazenados. Inicialmente, o sistema utilizava armazenamento local, porém a migração para armazenamento em nuvem permitiu maior sincronização das informações, autenticação de usuários, controle de acesso e armazenamento permanente dos registros laboratoriais. Esclarece Nogueira (2025), soluções em nuvem apresentam vantagens relacionadas à escalabilidade, disponibilidade das informações e maior segurança no armazenamento de dados organizacionais.

Apesar dos resultados positivos alcançados, observou-se que algumas funcionalidades ainda podem ser aprimoradas futuramente, como a exportação definitiva dos relatórios em PDF, implementação de assinatura digital com validade jurídica baseada na ICP-Brasil e validação do sistema em ambiente real de produção. Entretanto, tais limitações não comprometem a viabilidade técnica da proposta desenvolvida. Silva e Oliveira (2021) afirmam em suas análises sobre o assunto que os sistemas computacionais passam continuamente por processos de evolução e aperfeiçoamento, sendo comum a implementação gradual de novas funcionalidades conforme as necessidades operacionais identificadas durante sua utilização prática.

De maneira geral, os resultados obtidos apontam que o sistema desenvolvido possui potencial para contribuir significativamente com a modernização do controle tecnológico do concreto, promovendo automação, rastreabilidade, segurança das informações e padronização documental. A aplicação evidenciou capacidade de auxiliar laboratórios e profissionais da construção civil na gestão de ensaios e documentos técnicos, reduzindo falhas operacionais e fortalecendo a qualidade dos processos relacionados ao controle tecnológico do concreto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver um sistema digital para o gerenciamento do controle tecnológico do concreto, contemplando a gestão de corpos de prova e dos ensaios de resistência à compressão. Com base nos resultados obtidos durante o desenvolvimento e validação da aplicação, verifica-se que esse objetivo foi plenamente alcançado, uma vez que o sistema implementado possibilitou a centralização das informações, a automação de processos operacionais, a rastreabilidade dos ensaios e a emissão de relatórios técnicos, contribuindo para maior eficiência e confiabilidade na gestão laboratorial.

Em relação aos objetivos específicos, constatou-se que foi possível analisar o processo de controle tecnológico do concreto e identificar as principais dificuldades associadas aos métodos tradicionais de gerenciamento, especialmente aquelas relacionadas à utilização de registros manuais e planilhas dispersas. Também foi alcançado o objetivo de levantar e definir os requisitos necessários para o desenvolvimento da ferramenta, permitindo a modelagem de uma solução alinhada às necessidades operacionais dos laboratórios de controle tecnológico.

Conclui-se que foi atendido o objetivo de desenvolver e implementar uma aplicação *web* capaz de gerenciar obras, lotes, corpos de prova, ensaios e relatórios técnicos. Além disso, verificou-se que a ferramenta incorporou mecanismos de controle de acesso, auditoria, armazenamento em nuvem e rastreabilidade documental, atendendo às funcionalidades previamente definidas para o sistema. Por fim, os testes realizados permitiram avaliar o funcionamento da aplicação, demonstrando sua viabilidade técnica e seu potencial para contribuir com a organização e modernização dos processos relacionados ao controle tecnológico do concreto.

Os resultados obtidos evidenciaram que a utilização das plataformas *Lovable* e *Supabase* possibilitaram a construção de uma solução funcional, segura e adaptada às demandas do setor. A aplicação demonstrou potencial para reduzir erros operacionais, otimizar o gerenciamento das informações e fortalecer a qualidade dos processos laboratoriais, aspectos fundamentais para a tomada de decisões técnicas na construção civil.

Embora algumas funcionalidades possam ser aprimoradas futuramente, como a implementação de assinatura digital com validade jurídica e a validação do sistema em ambiente real de produção, tais limitações não comprometem os resultados alcançados. Constata-se que a pesquisa respondeu ao problema investigado, alcançou o objetivo geral e todos os objetivos específicos, demonstrando a viabilidade do sistema como ferramenta de apoio ao controle tecnológico do concreto e à gestão de ensaios laboratoriais.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. S.; PEREIRA, T. M. **Sistemas de gestão da qualidade em laboratórios**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

APL ENGENHARIA. **Como a consistência do concreto interfere na sua trabalhabilidade?** *Blog APL Engenharia*. 2026. Disponível em: <https://blog.apl.eng.br/como-a-consistencia-do-concreto-interfere-na-sua-trabalhabilidade/>. Acesso em: 6 abril 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2015** Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118:2023 Versão Corrigida 2:2024 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655:2022**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AUTOLAB. **Sistema de controle tecnológico para automação de laboratório e produção de concreto**. 2024. Disponível em: <https://sistema-autolab.com.br/>. Acessado em: 28 abril 2026.

BARBOSA, L. F.; LIMA, G. H. Automação e integração de dados laboratoriais. **Revista Tecnologia & Inovação**, v. 14, n. 2, p. 45-60, out. 2022.

BAUER, P. R. S. **Programa de qualidade as dificuldades para Obtenção e Adequação do programa PBQP-H; SIQ-C**. 2005. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2023.

BILESKY, P.; HELENE, H. A. P.; COUTO, D.; CASTRO, A. L.; CURTI, R. Determinação do módulo de elasticidade do concreto pelo método dinâmico. **Revista Concreto & Construções**, v. 117, n. 117, p. 75-92, mar. 2025.

BORGES, R. M. S.; VIEIRA, B. M. P.; CAMPOS, V. R.; BARROS NETO, J. de P. **Caracterização da produção científica sobre a internet das coisas na construção civil e seus impactos em produtividade: análise de trabalhos publicados em âmbito internacional**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

BOTELHO, E. **Gerenciamento digital do controle tecnológico de concreto e rastreabilidade de corpos de prova**. 4. ed. São Paulo: Autocontrol, 2024.

CALÇADA, L. M. L. **Estudo da eficácia do ensaio de migração em condições de fluxo não-estacionário na previsão da penetração de cloretos em concreto**. 2019. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

CARVALHO, V. A. **Avaliação do controle tecnológico do concreto conforme NBR 12655 de um empreendimento localizado na cidade de Paulo Afonso/BA**. 2023. 58f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2023.

CIDESP. Congresso Internacional de Desempenho do Setor Público. Sistema de Gerenciamento de Informações de Laboratório (LIMS). **Software implementados para garantir a rastreabilidade e a conformidade regulatória**. 2025. Disponível em: <https://cidesp.com.br>. Acesso em: 10 abril 2026.

COSTA, M. A. Transformação digital em laboratórios: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Gestão Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 78-95, ago. 2022.

CRUZ, T. **Sistemas de informações gerenciais: tecnologias da informação e as organizações do século XXI**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

DEMARCHI, C. R. **Controle tecnológico do concreto: comparação entre a NBR 12655 e a prática em obras**. 2024.

DIAGNÓSTICOS DO BRASIL. **Rastreabilidade das amostras: por que é essencial em laboratórios**. 2025. Disponível em: <https://www.diagnosticodobrasil.com.br/artigo/rastreabilidade-das-amostras-por-que-e-essencial-em-laboratorios>. Acesso em: 15 abril 2026.

FERREIRA, D. P.; SOUZA, R. L. Sistemas LIMS e sua aplicação em laboratórios modernos. **Revista de Gestão Laboratorial**, v. 12, n. 3, p. 101-115, jul. 2020.

GIRDÃO, S. S. **Avaliação experimental do grau de confiabilidade dos ensaios à compressão do concreto efetivados em laboratório**. 2024, 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2024.

INDX. Laboratory Information Management System (LIMS). **Sistema de Gerenciamento de Informações Laboratoriais**. 2024. Disponível em: <https://www.indx.com>. Acesso em: 12 abril 2026.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2022.

LABINTECH. LabWay-LIMS. **Sistema de gestão laboratorial**. 2023. Disponível em: <https://www.labintech.com.br>. Acesso em: 01 maio 2026.

LABVANTAGE. Sistema de gerenciamento de informações laboratoriais (LIMS). **Execução de projetos laboratorial e gestão de dados científicos**. 2024. Disponível em: <https://pt.labvantage.com>. Acesso em: 05 abril 2026.

LASCARRO, M. A. Federação Ibero-americana do Concreto Pré-misturado (FIHP) analisa os principais números da indústria. **Revista Construção Latino Americana (CLA)**. Rio de Janeiro, v. 10, n. 20, p. 52-58, jun. 2017.

LOPES, A. B.; BOSCARIOLI, C.; PEREIRA, E. N.; BEZERRA, R. C. Business intelligence para apoio à gestão na construção civil: uma revisão sistemática da literatura. **Revista AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento**, v. 9, n. 1, p. 74-84, jun. 2020.

MARTINS, A. C. Gestão da informação em ambientes laboratoriais. **Revista de Sistemas de Informação**, v. 20, n. 1, p. 33-50, dez. 2024.

MASTERINSOFT. **Software de gestão de laboratório LIMS**. 2024. Disponível em: <https://masterinsoft.com>. Acessado em: 28 abril 2026.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. 8. ed. São Paulo: Pini, 2022.

MENDES, J. G. Controle tecnológico do concreto. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v 10, n. 4, p. 75-88, fev. 2021.

MONTELO, R.; ROSSINI, V. **Rastreamento do concreto**. 4. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2022.

MONUTTI, Diego. **O que é Supabase**: como criar um banco de dados low code. Hashtag Treinamentos, 2026. Disponível em: [https://www.hashtagtreinamentos.com/supabase-no-code?conversion=base-ex-go-post-novos&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=22810243158&gbraid=0AAAAADLlh8\\_BIGtaHo4ZZnd20pRISaoR&gclid=Cj0KCQjwk\\_bPBhDXARIsACiq8R1\\_CcC0pA4tKitfUafQPtO0hMLoGz7NjeB0eEYtDAh282LXqOpWOi4aAq-uEALw\\_wcB](https://www.hashtagtreinamentos.com/supabase-no-code?conversion=base-ex-go-post-novos&gad_source=1&gad_campaignid=22810243158&gbraid=0AAAAADLlh8_BIGtaHo4ZZnd20pRISaoR&gclid=Cj0KCQjwk_bPBhDXARIsACiq8R1_CcC0pA4tKitfUafQPtO0hMLoGz7NjeB0eEYtDAh282LXqOpWOi4aAq-uEALw_wcB). Acessado em: 18 abril 2026.

NEVILLE, M.A.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

NOGUEIRA, L. F. **Um estudo comparativo de plataformas de desenvolvimento full-stack orientadas por IA**. 2025. 115f. TCC (Graduação em Ciências da Computação) - Universidade Federal do Ceará, Quixadá, 2025.

PAULA, I. A. F.; GOMES, L. C. **Importância do controle interno de qualidade laboratorial**: fase pré-analítica, analítica e pós-analítica. 2024.

PEDROSO, F. Aplicação e controle tecnológico de pavimentos de concreto. **Revista Concreto & Construções**, v. 15, n. 8, p. 56-68, set. 2024.

PEREIRA, A. C. Redução de erros humanos em processos automatizados. **Revista Engenharia e Inovação**. v. 4, n. 1, p. 45-58, ago. 2021.

ROCHA, D. F.; MARTINS, L. A. Eficiência operacional em laboratórios modernos. **Revista de Pesquisa Aplicada**, v. 3, n. 12, p. 25-52, set. 2024.

RODRIGUES, F. J. Métodos tradicionais versus digitais na gestão de dados laboratoriais. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 9, n. 4, p. 120-135, jan. 2020.

ROLIM, R. B. G.; BRITZ, C. A.; HELENE, P. R. L. Controle da resistência à compressão do concreto: análise comparativa entre os procedimentos propostos pela ABNT, ACI e EN. Estudo de caso (2018). **Revista ALCONPAT**, v.8, n.3, p. 333 – 346, set. 2018.

SANTOS, B. T. H.; MARTINS JÚNIOR, O. **Controle de qualidade e rastreabilidade do concreto dosado em central: estudo de caso em edificações públicas na cidade de Palmeiras dos Índios, AL**. 2024. 76 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Alagoas, Palmeira dos Índios, 2024.

SILVA, L. **Do protótipo ao app real: como Lovable e Supabase estão democratizando o desenvolvimento Low-Code**. DIO. 2025. Disponível em: <https://www.dio.me/articles/do-prototipo-ao-app-real-como-lovable-e-supabase-estao-democratizando-o-desenvolvimento-low-code-e1452a033fe0>. Acessado em: 20 abril 2026.

SILVA, A. B. B.; BARBOSA, C. V.; ARAÚJO, L. E. F.; NETO, J. P. B. Fundamentos, aplicação e finalidade de software e tecnologias da Construção 4.0: revisão sistemática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20, 2024, Maceió. **Anais[...]**. Maceió: ANTAC, 2025.

SILVA, J. M.; OLIVEIRA, P. R. Sistemas de informação aplicados à gestão laboratorial. **Revista Acadêmica de Tecnologia**, v. 15, n. 2, p. 22-38, nov. 2021.

SILVA, J. R.; SANTOS, P. H. Automação e qualidade de dados laboratoriais. **Revista Científica Atual**, v. 20, n.5, p. 68-90, jun. 2022.

SIEMENS. **Software de gestão de informação laboratorial**. 2024. Disponível em: <https://www.siemens.com>. Acessado em: 15 abril 2026.

SOUZA, E. M.; LIMA G. F. Boas práticas laboratoriais e rastreabilidade digital. **Revista de Ciências Aplicadas**, v. 18, n. 9, p. 67-98, dez. 2022.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2018.

TAVARES, Vitor. **Supabase: seu back-end em minutos (low-code)**. DIO, 2025. Disponível em: <https://www.dio.me/articles/supabase-seu-back-end-em-minutos-low-code-4e6d55706f8d>. Acesso em: 20 abril 2026.

TUTIKIAN, B. F.; PACHECO, M. Rastreabilidade e controle de qualidade do concreto: desafios na era digital. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 16, n. 2, P. 16-25, 2023.

|                                                                                   |                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|  | <b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b> |
|                                                                                   | Campus Patos - Código INEP: 25281925                                  |
|                                                                                   | Br 110, S/N, Alto da Tubiba, CEP 58700-000, Patos (PB)                |
|                                                                                   | CNPJ: 10.783.898/0006-80 - Telefone: None                             |

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Versão final do TCC

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| Assunto:             | Versão final do TCC |
| Assinado por:        | Maria Ferreira      |
| Tipo do Documento:   | Anexo               |
| Situação:            | Finalizado          |
| Nível de Acesso:     | Ostensivo (Público) |
| Tipo do Conferência: | Cópia Simples       |

Documento assinado eletronicamente por:

- **Maria Danielly Soares da Nobrega Ferreira, DISCENTE (202026550057) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - PATOS**, em 25/07/2026 01:56:19.

Este documento foi armazenado no SUAP em 25/07/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1925190  
Código de Autenticação: 07f4728347

