



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EDUARDO FIGUEIRÔA SILVA  
PEDRO HENRIQUE PANCOTTI

**PRODUTIVIDADE NA DEMOLIÇÃO PLANEJADA DE  
PAREDES DE CONCRETO ARMADO EM SILO – ANÁLISE  
COMPARATIVA ENTRE DOIS PROCESSOS**

Recife

2024

EDUARDO FIGUEIRÔA SILVA  
PEDRO HENRIQUE PANCOTTI

**PRODUTIVIDADE NA DEMOLIÇÃO PLANEJADA DE PAREDES DE CONCRETO  
ARMADO EM SILO – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS PROCESSOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Rachel Perez Palha

Recife

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Eduardo Figueirôa.

Produtividade na demolição planejada de paredes de concreto armado em silo  
- análise comparativa entre dois processos / Eduardo Figueirôa Silva, Pedro  
Henrique Pancotti. - Recife, 2024.

79 p. : il., tab.

Orientador(a): Rachel Perez Palha

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil -  
Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Retrofit. 2. Demolição. 3. Produtividade. 4. Martelo rompedor. 5. Wall  
saw. I. Pancotti, Pedro Henrique. II. Palha, Rachel Perez. (Orientação). III. Título.

620 CDD (22.ed.)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL**

**CANDIDATO(S):** 1 – Eduardo Figueirôa Silva  
2 – Pedro Henrique Pancotti

**BANCA EXAMINADORA:**

**Orientador:** Prof<sup>ª</sup>. D.Sc. Rachel Perez Palha

**Examinador 1:** Prof. D.Sc. Tiberio Wanderley Correia De Oliveira Andrade

**Examinador 2:** Prof<sup>ª</sup>. M.Sc. Claudia Rafaela Saraiva De Melo Simoes Nascimento

**TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:** PRODUTIVIDADE NA DEMOLIÇÃO PLANEJADA DE PAREDES DE CONCRETO ARMADO EM SILO – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DOIS PROCESSOS

**LOCAL:** Recife - PE

**DATA:** 17/04/2024 **HORÁRIO DE INÍCIO:** 10:00.

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) arguido(s) oralmente pelos membros da banca com NOTA: 10,0 (deixar 'Exame Final', quando for o caso).

**1) (X) aprovado(s) (nota > = 7,0)**, pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito.

As revisões observadas pela banca examinadora deverão ser corrigidas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias (o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

O trabalho com nota no seguinte intervalo, **3,0 = < nota < 7,0**, será reapresentado, gerando-se uma nota ata; sendo o trabalho aprovado na reapresentação, o aluno será considerado **aprovado com exame final**.

**2) ( ) reprovado(s). (nota <3,0)**

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 17 de abril de 2024

Orientador:	 Documento assinado digitalmente RACHEL PEREZ PALHA Data: 17/04/2024 10:43:55-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a> .....	
Avaliador 1:	Documento assinado digitalmente .....	 Documento assinado digitalmente TIBERIO WANDERLEY CORREIA DE OLIVEIRA ANI Data: 17/04/2024 11:28:57-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a> .....
Avaliador 2:	 Documento assinado digitalmente CLAUDIA RAFAELA SARAIVA DE MELO SIMOES N Data: 17/04/2024 10:52:29-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a> .....	
Candidato 1:	.. Documento assinado digitalmente ....	
Candidato 2:	 EDUARDO FIGUEIROA SILVA Data: 17/04/2024 12:25:59-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a> .....	 Documento assinado digitalmente PEDRO HENRIQUE PANCOTTI Data: 17/04/2024 14:29:40-0300 Verifique em <a href="https://validar.iti.gov.br">https://validar.iti.gov.br</a> .....

**Coordenação do Curso de Engenharia Civil-Dcivil**

Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº. Cidade Universitária. Recife-PE CEP: 50740-530.

Fones: (081)2126.8220/8221 Fone/fax: (081)2126.8219.

*Dedicamos este trabalho aos  
nossos pais, cujo apoio e  
incentivo constante nos  
impulsionaram a seguir  
nossos sonhos e alcançar  
nossos objetivos*

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus pela saúde e sabedoria que nos foram concedidas durante nossa jornada acadêmica. Que possamos sempre reconhecer Sua generosidade e usar nossos conhecimentos para fazer a diferença no mundo.

Às nossas queridas famílias: Rosa, Sílvio e Débora (Eduardo); Ivandra e Evandro (Pedro), gostaríamos de expressar nossa mais profunda gratidão por todo o apoio, orientação, carinho e amor que vocês nos proporcionaram ao longo de nossas jornadas. Mesmo à distância, suas presenças foram fundamentais, inspirando-nos a nos esforçar e a nos tornar as melhores versões de nós mesmos. Sem a orientação e o amor incondicional de vocês, certamente não teríamos alcançado este marco importante em nossas vidas. Agradecemos por tudo o que fizeram e continuam fazendo por nós.

A Kaline (Eduardo) e Laura (Pedro), por serem parte essencial de nossas jornadas e por encherem nossos corações com tanto carinho. Saber que podemos contar com vocês nos dá a certeza de que o futuro será vivido com mais confiança e alegria. Obrigado por serem fontes constantes de apoio, conforto e amor em nossas vidas.

Aos nossos professores pelos ensinamentos valiosos ao longo de nossa graduação. Em especial, queremos agradecer a Professora Rachel por sua orientação e apoio durante a realização deste trabalho.

A Moura Dubeux pela oportunidade de estudar uma obra única em nosso trabalho de conclusão de curso.

Aos amigos, em especial a Igor, por todas as memórias compartilhadas durante nossa graduação. Juntos, superamos desafios, celebramos conquistas e crescemos. Que nossas amizades continuem fortes em nossas novas jornadas.

## RESUMO

O *retrofit*, um processo de atualização de edifícios existentes para melhorar sua eficiência e funcionalidade, desempenha um papel fundamental na sustentabilidade urbana, na preservação do patrimônio e na valorização imobiliária, tornando-se uma prática indispensável na construção civil. Este estudo visa analisar a eficiência de dois métodos de demolição aplicados a quatro paredes de concreto armado em uma obra de *retrofit* no centro do Recife, PE. O presente trabalho adotou uma abordagem metodológica de estudo de caso, delimitando inicialmente a área de análise e os métodos de demolição para cada equipamento utilizado no serviço: o martelo rompedor e a *wall saw*. Em seguida, foi calculada Razão Unitária de Produção (RUP) e o Custo Unitário de Produção (CUP) para cada equipamento, com base nos dados coletados em campo. O estudo determinou um RUP médio de 15 Hh/m<sup>3</sup> com o CUP médio R\$ 2.468,72/m<sup>3</sup> para as paredes demolidas com a *wall saw*, enquanto o martelo rompedor obteve um CUP médio de R\$809,44/m<sup>3</sup> com o RUP de 25,71 Hh/m<sup>3</sup>. Com os resultados obtidos, foi conduzida uma análise comparativa entre os dois métodos, estimando a eficiência dos recursos utilizados em cada abordagem.

**Palavras-chave:** *Retrofit*; Demolição; Produtividade; Martelo rompedor; *Wall saw*.

## ABSTRACT

Retrofit, a process of updating existing buildings to improve their efficiency and functionality, plays a fundamental role in urban sustainability, patrimony preservation and real estate appreciation, becoming an indispensable practice in construction. This study aims to analyze the efficiency of two demolition methods applied to four reinforced concrete walls in a retrofit building in the center of Recife, PE. The current work used a case study methodological approach, initially delimiting the area of analysis and the demolition methods for each piece of equipment used in the service: the breaker hammer and the wall saw. Then, the Unitary Production Ratio (UPR) and the Unitary Production Cost (UPC) were calculated for each piece of equipment, based on data collected in the field. The study determined an average UPR of 15 Hh/m<sup>3</sup> with an average UPC of R\$2,468.72/m<sup>3</sup> for the wall demolished by the wall saw, while the breaker hammer obtained an average UPC of R\$809.44/m<sup>3</sup> with a UPR of 25.71 Hh/m<sup>3</sup>. With the obtained results, a comparative analysis was conducted between the two methods, estimating the efficiency of the resources used in each approach.

**Keywords:** Retrofit; Demolition; Productivity; Breaker hammer; Wall saw.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes abrangências do estudo da produtividade.....	18
Figura 2 – Diferentes grupos de mão de obra.....	20
Figura 3 – Exemplo da quantidade de serviço executado .....	21
Figura 4 – Método mecânico por máquinas hidráulicas de braço longo .....	24
Figura 5 – Demolição com bola de demolição .....	25
Figura 6 – Fluxograma do estudo de caso .....	26
Figura 7 – Balancim elétrico .....	27
Figura 8 – Martelo Rompedor 1.500 W .....	28
Figura 9 – Cinzel Pontiagudo .....	28
Figura 10 – Esmerilhadeira angular elétrica de 2.500 W .....	29
Figura 11 – Armação da parede demolida.....	29
Figura 12 – Exaustor .....	30
Figura 13 – Exemplar do equipamento <i>wall saw</i> .....	31
Figura 14 – Martelo perfurador .....	31
Figura 15 – Operação da <i>wall saw</i> na parede 25.1 .....	32
Figura 16 – Estrutura de andaime do silo 25 .....	33
Figura 17 – Fragmentos da demolição: martelo rompedor (esquerda) <i>wall saw</i> (direita).....	34
Figura 18 – Edificação dos moinhos, na Rua de São Jorge, 240, Bairro do Recife .....	43
Figura 19 – Projeto Moinho Recife <i>Business &amp; Life</i> .....	44
Figura 20 – Divisões dos edifícios do Projeto Moinho Recife <i>Business &amp; Life</i> .....	44
Figura 21 – Fachada original do Silo 240 (esquerda) e projeto do <i>retofit</i> (direita).....	45
Figura 22 – Planta Baixa dos pavimentos tipos do Silo 240 .....	46
Figura 23 – Planta de demolição .....	46
Figura 24 – Mapeamento das estruturas de acesso.....	47
Figura 25 – Demolição da parede 13.1 .....	48
Figura 26 – Paredes 19.1 e 18.1 demolidas .....	49
Figura 27 – Gestão visual da demolição das paredes .....	50
Figura 28 – Análise gráfica das produtividades da parede 25.1 .....	53
Figura 29 – Análise gráfica das produtividades da parede 22.1 .....	57
Figura 30 – Análise gráfica das produtividades da parede 19.1 .....	63
Figura 31 – Análise gráfica das produtividades da parede 16.1 .....	68
Figura 32 – Análise gráfica dos RUP <sub>cum</sub> da demolição das quatro paredes .....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de RUP.....	22
Tabela 2 – Diferenças dos equipamentos .....	35
Tabela 3 – Exemplo de formulário utilizado na coleta de dados.....	36
Tabela 4 – Exemplo de formulário utilizado para o levantamento dos equipamentos e materiais utilizados na demolição com a <i>wall saw</i> .....	37
Tabela 5 – Exemplo de formulário utilizado para o levantamento de equipamentos e materiais utilizados na demolição com o martelo rompedor.....	37
Tabela 6 – Tabela de preços unitários de insumos considerados para fins deste estudo.....	41
Tabela 7 – Coleta de dados da demolição da parede 25.1 .....	51
Tabela 8 – Produtividade da parede 25.1 .....	52
Tabela 9 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 25.1 .....	54
Tabela 10 – Despesas da demolição da parede 25.1.....	55
Tabela 11 – Coleta de dados da demolição da parede 22.1 .....	56
Tabela 12 – Produtividade da parede 22.1 .....	56
Tabela 13 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 22.1 .....	58
Tabela 14 – Despesas da demolição da parede 22.1.....	59
Tabela 15 – Coleta de dados da demolição da parede 19.1 .....	60
Tabela 16 – Distribuição das horas do corte do aço para os dias de demolição (Parede 19.1)	61
Tabela 17 – Produtividade da parede 19.1 .....	62
Tabela 18 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 19.1 .....	64
Tabela 19 – Despesas da demolição da parede 19.1.....	65
Tabela 20 – Coleta de dados da demolição da parede 16.1 .....	66
Tabela 21 – Distribuição das horas do corte do aço para os dias de demolição (Parede 16.1)	67
Tabela 22 – Produtividade da parede 16.1 .....	67
Tabela 23 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 16.1 .....	69
Tabela 24 – Despesas da demolição da parede 16.1.....	70
Tabela 25 – Comparativo do serviço de demolição das paredes.....	71
Tabela 26 – Comparativo do serviço de demolição das paredes e estruturas de acesso .....	73

Tabela 27 – Comparativo do custo total para a demolição das paredes .....	73
Tabela 28 – Comparativo dos indicadores da demolição de cada equipamento .....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CUP	Custo Unitário de Produção
Hh	Homens-hora
NBR	Norma Brasileira
Qs	Quantidade de Serviço
Q <sub>Sliq</sub>	Quantidade de Serviço Líquida
Q <sub>Sbruta</sub>	Quantidade de Serviço Bruta
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RUP	Razão Unitária de Produção
RUP <sub>d</sub>	Razão Unitária de Produção Diária
RUP <sub>dir</sub>	Razão Unitária de Produção da Mão de Obra Direta
RUP <sub>cum</sub>	Razão Unitária de Produção Cumulativa
RUP <sub>cic</sub>	Razão Unitária de Produção Cíclica
RUP <sub>glob</sub>	Razão Unitária de Produção da Mão de Obra Global
RUP <sub>of</sub>	Razão Unitária de Produção dos Oficiais
RUP <sub>per</sub>	Razão Unitária de Produção Periódica
RUP <sub>pot</sub>	Razão Unitária de Produção Potencial

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO .....	14
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS .....	15
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivos gerais</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1	PRODUTIVIDADE .....	17
<b>2.1.1</b>	<b>Planejamento x Produtividade</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Medição da produtividade</b> .....	<b>18</b>
2.1.2.1	Definição da mão de obra a ser considerada .....	19
2.1.2.2	Definição das horas trabalhadas .....	20
2.1.2.3	Medição da quantidade de serviço executado (saídas).....	20
2.1.2.4	Intervalo de tempo da produtividade.....	21
<b>2.1.3</b>	<b>Fatores que influenciam na produtividade</b> .....	<b>22</b>
2.2	DEMOLIÇÃO .....	23
<b>2.2.1</b>	<b>Métodos de demolição</b> .....	<b>23</b>
2.2.1.1	Demolição progressiva .....	24
2.2.1.2	Colapso deliberado .....	25
2.2.1.3	Desconstrução deliberada de elementos ou <i>top down</i> , .....	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>26</b>
3.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO CASO COMPARATIVO .....	27
<b>3.1.1</b>	<b>Demolição com o martelo rompedor</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Demolição com a <i>wall saw</i></b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Diferenças na utilização dos equipamentos</b> .....	<b>33</b>
3.2	METODOLOGIA DA COLETA DE DADOS.....	35

3.3	MÉTODO DE CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE .....	37
3.4	MÉTODO DE CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO .....	40
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>43</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	43
<b>4.1.1</b>	<b>Silo 240.....</b>	<b>45</b>
4.2	SELEÇÃO DE CASOS COMPARATIVOS .....	47
4.3	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS .....	49
<b>4.3.1</b>	<b>Análise dos dados de demolição com a utilização da <i>wall saw</i> .....</b>	<b>50</b>
4.3.1.1	Parede 25.1 .....	51
4.3.1.2	Parede 22.1 .....	55
<b>4.3.2</b>	<b>Análise dos dados de demolição com utilização do martelo rompedor .....</b>	<b>59</b>
4.3.2.1	Parede 19.1 .....	59
4.3.2.2	Parede 16.1 .....	65
4.4	ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROCESSOS .....	71
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em grandes centros urbanos, torna-se difícil ou até mesmo impossível encontrar áreas livres para se construir (Barbosa Filho, 2015). Com o crescimento populacional e as novas demandas dos habitantes, há a necessidade da mudança da funcionalidade de alguns edifícios mais antigos ou até mesmo a construção de novos empreendimentos em seus locais. Porém, algumas dessas construções podem possuir elementos que devem ser preservados por sua natureza estética, funcional ou, ainda por se tratar de elementos patrimonializados. Nesse âmbito, a desconstrução parcial se configura como uma possibilidade, em que se modifica apenas uma parte da obra já existente (Barbosa Filho, 2015).

Assim, pode ser executada de maneira que ocorra a conservação das características arquitetônicas históricas de parcela da edificação (Martins *et al.*, 2015). Enquanto isso, a demolição total tem como objetivo a eliminação completa da edificação presente na região (Barbosa Filho, 2015). Nesse sentido, é primordial realizar um planejamento da demolição, para atenuar a geração de resíduos derivados da execução desses serviços, na qual a destinação correta dos materiais e a sua reutilização em novas construções são os principais objetivos (Martins *et al.*, 2015).

Por ser uma atividade com um grande leque de variáveis, torna-se difícil obter orçamento e cronograma assertivos (Suarez, 2006). Para minimizar esse transtorno, é necessário coletar indicadores e analisar parâmetros do serviço que será executado, os quais podem ser adquiridos por experiências anteriores ou por dados e relatos de profissionais de referência.

A escolha do método ou da tecnologia a ser empregada na desconstrução entre outras variáveis deverá ser pautada no prazo disponível, nos riscos da atividade a ser executada, bem como nos custos para a sua concretização. Em razão disso, acompanhar a produtividade resultante dessa escolha, será uma medida de extrema importância para o planejamento e controle de uma obra. De acordo com Peçanha *et al.* (2017), essa estratégia é pertinente para possibilitar a elaboração de um planejamento físico e financeiro o qual minimize a probabilidades de falhas e atenda requisitos de prazos, custos e gestão de pessoal.

### 1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

A construção civil é um dos maiores e mais ativos setores da indústria mundial (Martins *et al.*, 2015). Em prol da sua contínua manutenção, a captação e a elaboração de bancos de dados são de suma importância para que as construtoras e incorporadoras obtenham resultados satisfatórios e aprimorem futuras execuções e planejamentos de suas atividades.

Segundo Carraro (1998), o estudo e a análise da produtividade da mão de obra pode trazer benefícios para a indústria, desde que as informações sejam confiáveis e de acordo com a realidade analisada. Ademais, o autor complementa que os resultados obtidos pelo indicador trazem, de vários modos, vantagens para os gestores, como a previsão do custo da mão de obra, do tempo de duração dos serviços, analogia e análise dos resultados obtidos e a otimização de processos executivos.

Adotar demolições planejadas configura uma possibilidade de aperfeiçoar técnicas e contribuir para o aumento de eficiência das obras. Nesse sentido, a análise de produtividade, a partir de banco de dados confiáveis e consolidados, é indispensável para a garantia do êxito do planejamento.

A oportunidade de participar de obra única no segmento, cujas características da edificação serão tratadas mais adiante, em face da limitação de bibliografia acerca do tema nos motivaram à elaboração do presente trabalho de conclusão de curso.

## 1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

### 1.2.1 Objetivos gerais

Comparar dois processos de demolição a fim de avaliar qual apresenta uma melhor eficiência no uso de recurso.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Caracterizar a intervenção de demolição no caso específico: objetivo da desconstrução planejada, localização e volumes a remover;
- 2) Definir os processos de demolição;
- 3) Definir método na coleta de dados;
- 4) Definir metodologia para a precificação da demolição;
- 5) Mensurar a produtividade no serviço de demolição;
- 6) Quantificar os valores das demolições; e
- 7) Análise comparativa entre os processos.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho de conclusão de curso é estruturada em cinco capítulos, o primeiro capítulo apresenta uma breve introdução ao tema de estudo, ressaltando sua relevância. Além disso, são discutidas as razões que levaram à escolha desse assunto, e são delineados os objetivos gerais e específicos da dissertação.

No segundo capítulo, são abordados os referenciais teóricos relacionados aos temas tratados no trabalho. Em relação à produtividade, são apresentados os conceitos gerais, a interseção com o planejamento das obras, as diversas formas de medição e os fatores que a influenciam.

O terceiro capítulo descreve a metodologia adotada para a realização do estudo. Isso inclui a explicação das técnicas de desconstrução utilizadas na obra, a forma para a coleta de dados em campo e os métodos empregados para o cálculo dos indicadores da produtividade e do custo. Também são discutidas as limitações do trabalho.

O quarto capítulo trata do desenvolvimento do trabalho, abordando a área do empreendimento em que se baseia a pesquisa, a seleção dos casos comparativos, os dados coletados em campo, a análise da produtividade e do custo de cada parede demolida, e por último a comparação dos indicadores da demolição das paredes e dos métodos desconstrutivos utilizados em obra.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais dos resultados obtidos na análise comparativa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentadas as revisões teóricas relativas aos temas de produtividade e do serviço de demolição, os quais fundamentam o presente trabalho.

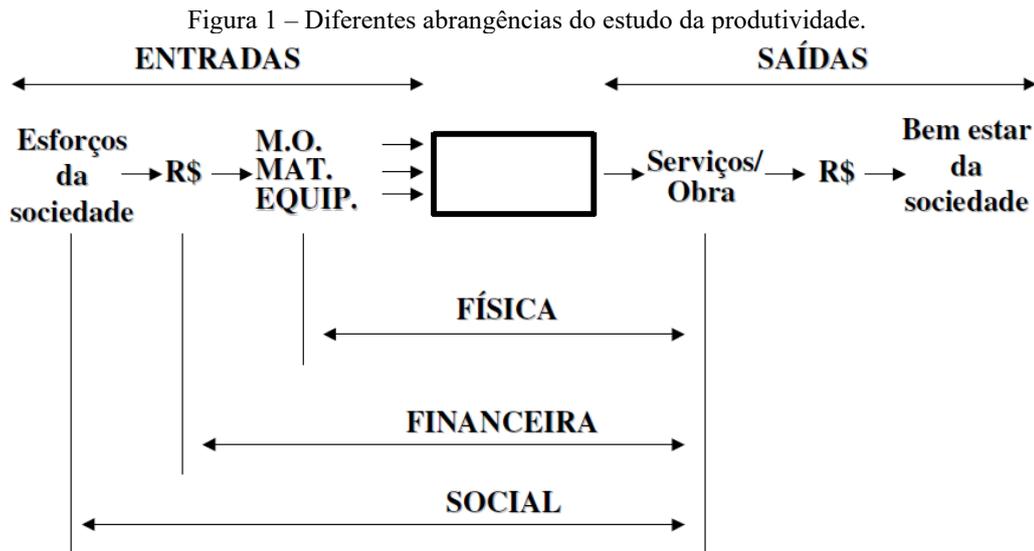
### 2.1 PRODUTIVIDADE

Com o intuito de melhorar a eficiência das práticas empregadas na indústria da construção civil e, por conseguinte, reduzir o desperdício da mão de obra, é necessário o entendimento de cada tipo de serviço e dos indicadores relacionados a eles (Souza, 2006). Além disso, é amplamente reconhecido que a competitividade no setor de construção depende dos seus bons índices de produtividade. Dentro desse contexto, as construtoras concentram esforços na gestão eficaz dos recursos físicos necessários para a produção, à medida que buscam crescer em um mercado acirrado.

Conforme Muscat (1993) delineou, o conceito de produtividade é derivado da definição empregada na física, centrada na eficiência, expressa como a razão entre a energia útil e a energia fornecida. Segundo esse autor, a produtividade representa a relação entre o valor das saídas e o custo dos recursos empregados para sua obtenção. Essencialmente, a produtividade é frequentemente caracterizada como a habilidade de converter eficientemente entradas em saídas dentro de um contexto de processo produtivo, conforme enfatizado por Souza (1996) e expresso na Equação (1).

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Entradas}}{\text{Saídas}} \quad (1)$$

Na indústria da construção civil, a análise da eficiência pode ser abordada de vários modos, dependendo do tipo de recurso a ser transformado no processo. De acordo com Souza (200), essa metodologia de transformação explorado de diversas perspectivas, como: física, quando está associada ao uso de equipamentos, materiais ou mão de obra; financeira, quando está associado com valores exigido; ou social, quando o recurso primário do processo de produção está relacionado ao esforço da sociedade, conforme ilustrado na Figura 1.



Fonte: Souza (2000)

### 2.1.1 Planejamento x Produtividade

Há inúmeros conceitos de planejamento na literatura. Ao analisar as definições, torna-se cabível concluir-se que elas tendem a um mesmo conceito, sendo um processo do conhecimento do futuro almejado. A elaboração do planejamento é fundamental para os empreendimentos, a qual se estende desde o início até a sua conclusão (Queiroz, 2001). Além disso, é uma base para tomar decisões de forma rápida e implementar transformações para o cumprimento do cronograma (Chaves Filho, 2014).

A produtividade é uma ferramenta essencial para o planejamento e o acompanhamento e controle das obras, identificando possíveis falhas no sistema construtivo, que são capazes de causar danos físicos e financeiro (Peçanha, Amorim e Vieira., 2017). Pois é um instrumento auxiliar na determinação dos prazos dos serviços, dimensionamento de equipes, regimes de contratações e suprimentos de matérias e equipamentos. Portanto, com a posse desse indicativo torna-se possível a elaboração do cronograma físico-financeiro mais assertivo.

Focalizando na elaboração e análise diária da produtividade das atividades, é possível tomar medidas ágeis que otimizem os processos construtivos, evitando a procrastinação de problemas que possam impactar no planejamento da construção.

### 2.1.2 Medição da produtividade

Conforme destacado por Souza (2006), torna-se imperativo realizar a mensuração da produtividade a fim de possibilitar sua análise. De acordo com o autor, a abordagem mais direta de medição envolve a utilização da Razão Unitária de Produção (RUP), disponível na Equação (2). Este indicador estabelece uma relação entre o esforço humano requerido, expresso em

homens-hora, para realizar uma determinada unidade de medida de serviço, por exemplo, a aplicação de 1 metro quadrado de revestimento cerâmico. Portanto, quanto maior for o valor do RUP, menor será a produtividade da atividade executada.

$$RUP = \frac{Hh}{Qs} \quad (2)$$

No qual:

- RUP: Razão unitária de produção;
- Hh: Esforço necessária para realização da atividade, medido em homens-hora; e
- Qs: Quantidade de serviço executado.

Para a padronização do cálculo do indicador é necessário definir regras para os dados de entrada e de saída (Souza, 2006). O autor, ainda ressalta que a padronização deve ocorrer em quatro aspectos:

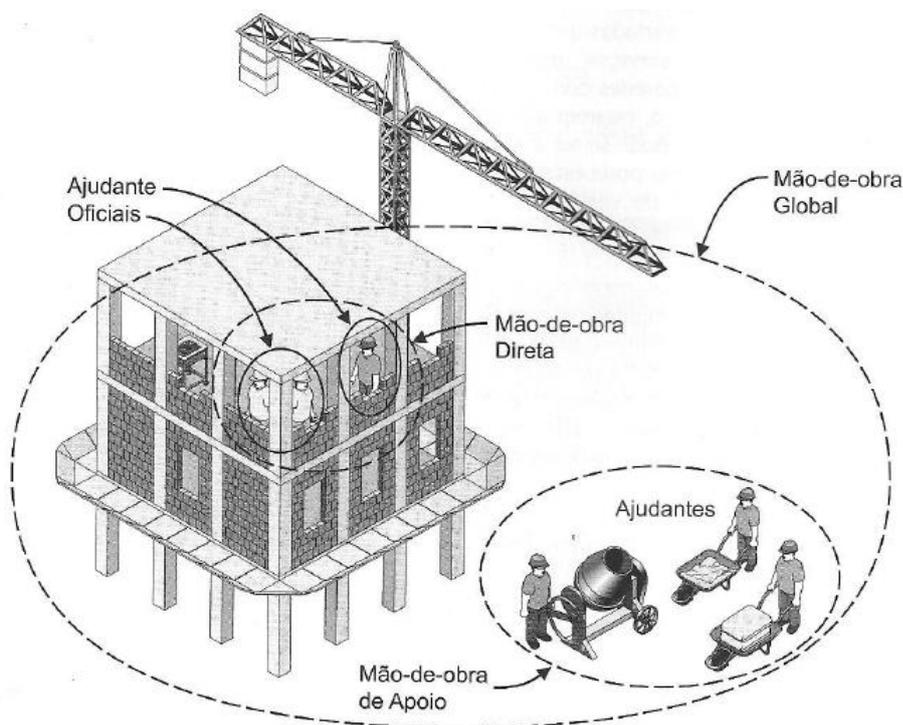
- Mão de obra a considerar (dado de entrada);
- Definição das horas de trabalho a considerar (dado de entrada);
- Quantidade do serviço (saída); e
- Intervalo de tempo dos dados de entrada e saída.

Segundo Souza (2000), as entradas são o cálculo da quantidade de funcionários executando o serviço, multiplicada pelo número de horas dedicadas para a sua execução. Já os valores de saídas podem ser dados de maneira bruta ou líquida.

#### 2.1.2.1 Definição da mão de obra a ser considerada

Na análise das equipes de mão de obra, conforme destacado por Souza (2006) em seu estudo, destaca-se a ênfase na exclusão dos esforços dos gestores no RUP, considerando apenas os colaboradores sob sua liderança. Conforme delineado na Figura 2, o autor categoriza a mão de obra em três grupos distintos: oficiais, que desempenham funções diretamente relacionadas ao serviço; mão de obra direta, compreendendo oficiais e ajudantes que oferecem suporte; e mão de obra global, que incorpora a mão de obra direta acrescida de uma equipe de apoio composta por ajudantes.

Figura 2 – Diferentes grupos de mão de obra



Fonte: Souza (2006)

Com base nessa definição, torna-se viável discernir as medidas de produtividade comprovadas, categorizando-se da seguinte forma:

- $RUP_{of}$  = produtividade dos oficiais;
- $RUP_{dir}$  = produtividade da mão de obra direta; e
- $RUP_{glob}$  = produtividade da mão de obra global.

#### 2.1.2.2 Definição das horas trabalhadas

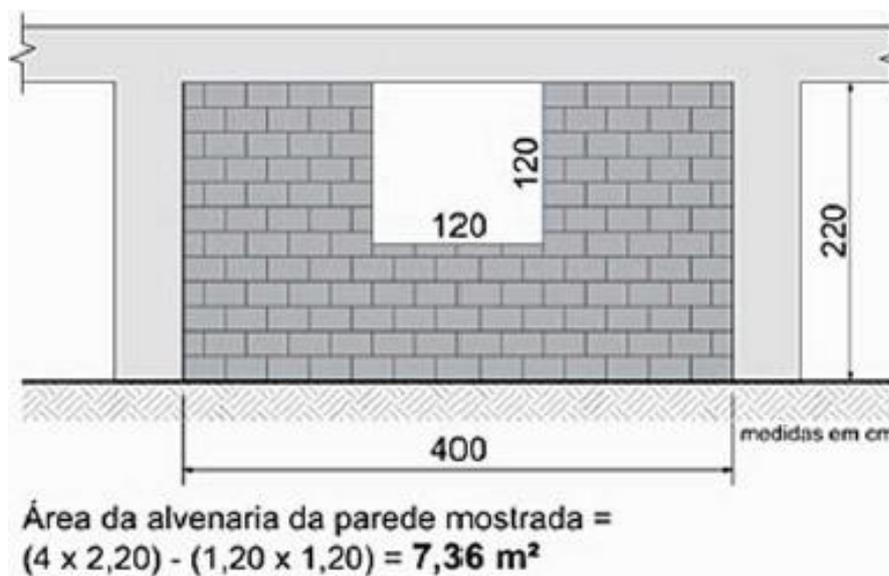
No âmbito do tempo de atividade, é essencial considerar o período em que o colaborador está fisicamente presente no canteiro de obras, conforme indicado por Souza (2006). Os contratempos diários, nos quais o colaborador não executa suas atividades, seja devido a inadequações no planejamento ou a interrupções durante a rotina, não são negligenciados, exceto o horário de almoço (Souza, 2006). Inicialmente, o período de inatividade também é integrado ao processo de cálculo do indicador, refletindo assim uma abordagem ampla na análise do desempenho laboral.

#### 2.1.2.3 Medição da quantidade de serviço executado (saídas)

Para a mensuração do serviço executado ( $Q_s$ ), impõe-se a necessidade de utilizar a quantidade de serviço de maneira "líquida"; contudo, frequentemente, emprega-se a abordagem

"bruta" ou "equivalente" para remunerar terceiros (Souza, 2006). A Figura 3 exemplifica a variação das formas da Qs na elevação de alvenaria de vedação.

Figura 3 – Exemplo da quantidade de serviço executado



Fonte: Souza (2006)

Onde:

- Bruta:  $Q_{S_{bruta}} = 4,0 \times 2,2 = 8,8 \text{ m}^2$
- Líquida:  $Q_{S_{liq}} = Q_{S_{bruta}} - 1,2 \times 1,2 = 7,36 \text{ m}^2$

As unidades de medida variam de acordo com a atividade executada. Nesse contexto, a elevação de alvenaria é quantificada em termos de área, ao passo que as demolições são mensuradas em volume.

#### 2.1.2.4 Intervalo de tempo da produtividade

De acordo com Souza (2006), existem diferentes intervalos de tempo para definir a mensuração das RUP, podendo ser classificadas conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de RUP

<b>Tipos de RUP</b>	<b>Descrição</b>
RUP <sub>d</sub>	RUP diária, relacionado ao dia de trabalho. São medidos as entradas e saídas a cada dia útil de serviço
RUP <sub>cum</sub>	RUP cumulativo, quando as quantidades de entradas e saídas são mensuradas do primeiro dia de serviço até a data de avaliação
RUP <sub>cic</sub>	RUP cíclica, é adotado quando se tem um serviço com ciclos bem definidos. Portanto, as entradas e saídas são medidos do início do serviço até a sua conclusão
RUP <sub>per</sub>	RUP periódico, quando é adotado um determinado intervalo de tempo (por exemplo, uma semana) para medição das entradas e saídas
RUP <sub>pot</sub>	RUP potencial, é determinado através da mediana das RUP diárias que são inferiores à RUP acumulada ao término do período observado. Este parâmetro reflete um valor de RUP diária que está correlacionado com um desempenho satisfatório, ao mesmo tempo em que é viável, visto que se assemelha aos valores detectados das RUP diárias

Fonte: Adaptado de Souza (2006).

Souza (2006) complementa que após a determinação do RUP<sub>pot</sub>, que pode servir como referência de produtividade teoricamente alcançável, é possível calcular o desvio a situação real e a ideal, a partir da diferença entre o RUP<sub>cum</sub> e o RUP<sub>pot</sub>. Com isso, pode-se definir a perda percentual de produtividade da mão de obra, pela Equação (3):

$$\text{Perda MO (\%)} = \frac{\text{RUP}_{\text{cum}} - \text{RUP}_{\text{pot}}}{\text{RUP}_{\text{pot}}} \times 100 \quad (3)$$

### 2.1.3 Fatores que influenciam na produtividade

A construção civil gera um número significativo de empregos, principalmente de trabalhadores com pouca qualificação e qualquer alteração na economia atinge fortemente o segmento. A produtividade pode ser afetada por vários fatores, de natureza externa como carga tributária, e de natureza interna, como o perfil da mão de obra, falta de planejamento e controle (Parizi, Naas e Garcia., 2016).

Segundo Thomas e Smith (1990), interrupções; mudanças de ordem; dimensionamento inadequado da equipe; supervisão inadequada; gerenciamento dos materiais; jornada de trabalho extensiva; ausência de cronograma de obra; e ferramentas e equipamentos utilizados, são alguns dos elementos que podem influenciar na eficiência do serviço.

Detectar os fatores que afetam significativamente a produtividade e analisá-los, torna-se um ponto de suma importância Araújo e Souza (2001). Em sua pesquisa, os autores dividiram os fatores em cinco categorias: características do produto; materiais e componentes; equipamentos e ferramentas; mão de obra; e organização da produção.

Ainda de acordo os autores, detectar e quantificar os fatores que impactam na produtividade da mão de obra é uma ferramenta de fundamental importância. Uma vez que, além de possibilitar estimar a produtividade, será possível ajustá-la diante dos cenários apresentados durante a execução do serviço.

## 2.2 DEMOLIÇÃO

À medida que os ambientes construídos envelhecem, a demolição se torna um serviço em rápido crescimento, oferecendo grandes oportunidades de emprego (Diven e Shaurette, 2011). Para o *Buildings Department of Hong Kong* (2004), a demolição é definida com a ação de desmontar ou destruir qualquer edifício ou estrutura, ou qualquer parte deles, através de métodos pré-planejados e controlados.

Diven e Shaurette (2011) destacam que a demolição evoluiu com a combinação complexa de tarefas que vão desde a limpeza de terrenos para as novas construções até a recuperações de materiais demolidos e sua remoção. De acordo com Suarez (2006), demolição é uma atividade perigosa que gera riscos especiais por apresentar numerosas variantes e pela inexistência de casos idênticos, fazendo com que supere as dificuldades de construir.

Diante disso, Barbosa Filho (2015) destaca a necessidade de um bom planejamento para demolições, na qual a segurança dos envolvidos deve ser tido como elemento primordial. Para garantir a seguridade na execução da atividade, o autor destaca a necessidade de existirem procedimentos bem definidos, levando-se em consideração o processo mais apropriado para o caso em questão.

### 2.2.1 Métodos de demolição

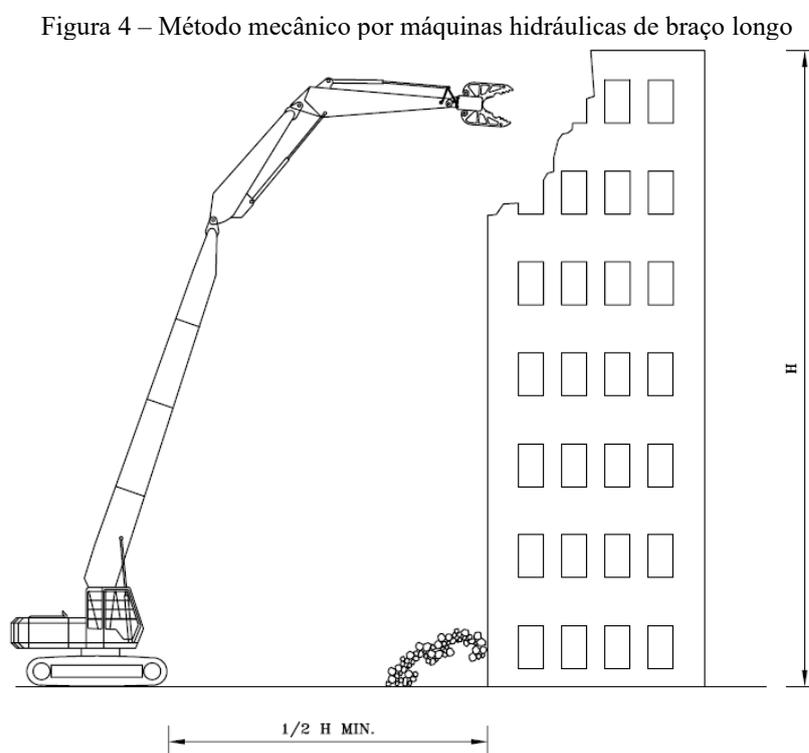
Para Martins *et al.* (2015), o processo de demolição passa por uma constante mudança que implicam, principalmente, na forma como a estrutura será demolida. O método de demolição deve ser escolhido levando em consideração as condições do projeto, restrições do local, vizinhança e os equipamentos disponíveis.

Os métodos de demolição são divididos em três categorias: demolição progressiva, colapso deliberado e desconstrução deliberada de elementos ou *top down* (Flosi, Marques e Ferreira, 2016).

### 2.2.1.1 Demolição progressiva

Segundo Flosi, Marques e Ferreira (2016), a demolição progressiva é eficiente em áreas confinadas e restritas, consiste na eliminação controlada de seções da estrutura, evitando que ocorra o colapso total ou parcial da edificação a ser demolida. Sendo fundamental, que haja um plano de remoção, no qual deve constar a sequência de demolição das peças.

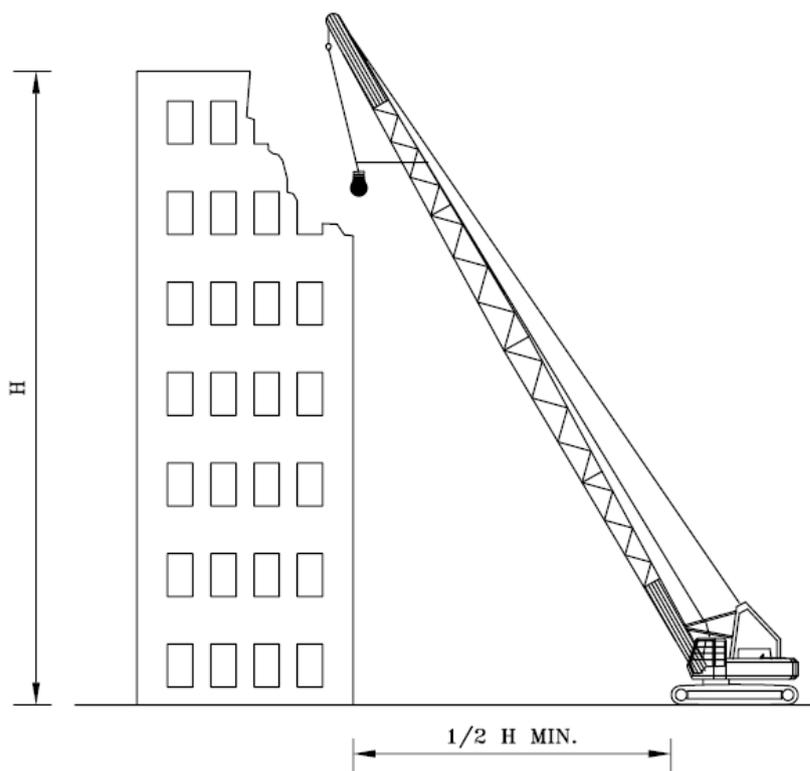
O método pode ser executado através de máquinas hidráulicas de braço longo, representado na Figura 4, sendo indicado para locais em situação com risco de rompimento da estrutura. De acordo com o *Buildings Department of Hong Kong* (2004), para que a operação ocorra com segurança, é necessária uma distância mínima equivalente à metade da altura total do edifício para a queda dos detritos.



Fonte: *Buildings Department of Hong Kong* (2004).

Segundo o *Buildings Department of Hong Kong* (2004) existe também a opção de utilização da bola de demolição (Figura 5), na qual a destruição do edifício acontecer através da energia de impacto da bola de aço suspensa no guindaste. Para aplicação do método, é necessário um profissional qualificado para operar o equipamento e um grande espaço de operação.

Figura 5 – Demolição com bola de demolição



Fonte: *Buildings Department of Hong Kong Buildings* (2004).

#### 2.2.1.2 Colapso deliberado

Quando a edificação está localizada em uma área isolada e que toda a estrutura será demolida, deve ser empregada a metodologia de colapso deliberado, consistindo na remoção sistemática ou enfraquecimento dos principais elementos estruturais (Flosi, Marques e Ferreira, 2016).

Ainda de acordo com os autores, o método pode ser executado através de máquinas empurrando a estrutura ou cabos tracionados, além da possibilidade de utilização de recursos explosivos para implosão da estrutura. Nesse caso, os explosivos são posicionados em pontos estratégicos, para que, quando detonados, haja o colapso da edificação.

#### 2.2.1.3 Desconstrução deliberada de elementos ou *top down*,

De acordo com o *Buildings Department of Hong Kong* (2004) método de desconstrução deliberada por elementos ou *top down*, é iniciado quando ocorre a remoção de partes selecionadas da estrutura por desmontagem ou desconstrução, em geral a execução do método ocorre de cima para baixo. O processo de demolição pode acontecer de modo manual (*top down* manual) ou com utilização de máquinas (*top down* mecanizado), em ambas as situações a sequência de execução depende das condições do local e dos elementos estruturais.

### 3 METODOLOGIA

De acordo Yin (2015), o estudo de caso pode ser definido como uma investigação empírica que examina um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real, sendo uma ferramenta amplamente utilizada em pesquisas científicas. Partindo deste princípio, o presente trabalho adota uma abordagem metodológica de estudo de caso para produtividade na desconstrução de paredes em uma obra de *retrofit*, em silos de concreto armado, executado pela construtora Moura Dubeux.

Para determinar a produtividade, foi realizada análise comparativa entre os dados de dois equipamentos de demolição, seguindo as etapas dispostas na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do estudo de caso



Fonte: Os autores (2024)

As três primeiras etapas compõem uma fase de suma importância para a metodologia adotada: delimitação do estudo de caso. Na primeira delas, será apresentado o contexto histórico da obra, à área de estudo e o projeto final do *retrofit*. Ainda será realizado o detalhamento da atividade de demolição que viabilizou a execução do projeto.

Em seguida é montado o método de desconstrução aplicada em obra, os equipamentos utilizados e as justificativas para escolha das áreas analisadas. Por fim, a terceira etapa que consiste na definição de procedimentos na coleta e análise de dados que atendem aos objetivos traçados.

Uma vez concluída a fase de delimitação do estudo, dar-se-á início ao tratamento dos dados coletados, realizando a análise comparativa entre eles. Por fim, a conclusão do estudo de caso, realizando uma análise crítica a partir dos dados levantados.

### 3.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO CASO COMPARATIVO

No presente estudo, serão comparadas as produtividades entre dois equipamentos empregados na demolição de paredes de concreto armado: o martelo rompedor e a serra cortadora (*wall saw*). Para tanto, serão apresentados os métodos desconstrutivos aplicados por cada uma das ferramentas.

#### 3.1.1 Demolição com o martelo rompedor

Para a demolição das paredes com o martelo rompedor, foi necessário a montagem de andaimes suspensos elétrico com 4 metros de comprimento, conforme ilustrado na Figura 7. O método de fixação envolveu o uso de duas vigas I, ancorados na laje superior por meio de cabos de aço. Os furos realizados na laje existente para a amarração da viga e passagem dos cabos de aço foram realizados por um operador de máquina, o qual utilizou uma perfuratriz elétrica com uma coroa diamantada com 112 mm de diâmetro. Por questões de segurança, o técnico responsável pela obra recomendou que o balancim fosse operado por apenas dois colaboradores.

Figura 7 – Balancim elétrico



Fonte: Locadora Nordeste (2024).

O martelo rompedor, representado na Figura 8, é uma ferramenta elétrica utilizada para tarefas que exigem impacto e perfuração, especialmente em concreto. Ao contrário dos martelos comuns, os martelos rompedores não dependem exclusivamente da força física do usuário, ele

utiliza dos mecanismos elétricos ou pneumáticos para gerar impactos repetidos, proporcionando maior eficiência na perfuração e quebra de materiais. O processo destrutivo desse método ocorre em duas etapas: a demolição do concreto, seguido pelo corte do aço.

Figura 8 – Martelo Rompedor 1.500 W



Fonte: Bosch (2024).

Visando uma melhor ergonomia dos funcionários, o equipamento utilizado foi o de potência nominal de 1.500 W, cada equipamento deste é operado por apenas um servente. Para uma melhor execução do serviço, foi utilizado como material perfurante o cinzel pontiagudo (Figura 9), popularmente chamado de “ponteiro”, que possui ponta cônica destinada à demolição.

Figura 9 – Cinzel Pontiagudo



Fonte: Bosch (2024).

Com o término da demolição das paredes de concreto armado, a equipe da demolição retorna ao topo da parede para iniciar o corte da armadura. Esse procedimento é realizado utilizando uma esmerilhadeira angular elétrica de 2.500 W (Figura 10), equipada com um disco de corte com diâmetro de 7 polegadas, começando de topo. Essas ferramentas elétricas são próprias para cortes e desbastes em materiais metálicos. A Figura 11 ilustra a armação que será

removida da estrutura após a conclusão da primeira etapa do processo, que consiste na demolição do concreto.

Figura 10 – Esmerilhadeira angular elétrica de 2.500 W



Fonte: Bosch (2024).

Figura 11 – Armação da parede demolida



Fonte: Os Autores (2023).

Para diminuir a quantidade de partículas sólidas suspensas no ar, gerada pela demolição do concreto, foram instalados exaustores (similares ao apresentado na Figura 12), na laje da cobertura do edifício, com mangueiras flexíveis que desciam a torre, de modo a acompanhar os

deslocamentos da equipe. Essa ação teve como intuito proporcionar melhores condições de trabalho aos funcionários.

Figura 12 – Exaustor



Fonte: Ecco air (2024).

### 3.1.2 Demolição com a *wall saw*

A *wall saw* (Figura 13), também conhecida como serra de parede, é uma ferramenta poderosa usada para cortar concreto armado e alvenaria com profundidade de até 705 milímetros e com precisão. O equipamento hidráulico consiste no uso de uma serra diamantada percorrendo um trilho guia. Seu uso não emite vibrações para a estrutura e os ruídos são menores em comparação à utilização dos martelos rompedores. Para a proteger a serra, o equipamento libera um *spray* de água, gerando uma mistura de água com cimento, que também contribui para a diminuição de partículas sólidas suspensas no ar. O sistema é composto de duas partes: uma unidade hidráulica com funcionamento trifásico de 380 *volts* que pesa em torno de 160 kg e a outra parte é composta pelo conjunto, cabeçote, trilho e serra diamantada com seu peso em torno de 45 Kg.

Figura 13 – Exemplar do equipamento *wall saw*



Fonte: HILTI (2024).

O processo de montagem da ferramenta é simples. Primeiramente na superfície do corte, são executados dois furos com um martelo perfurador, também conhecido como martelete (Figura 14), utilizando uma broca SDS de 16 milímetros. Em seguida, o trilho guia é instalado fixando-se dois chumbadores *parabolt* de 5/8 polegadas nos orifícios previamente perfurados, podendo ser posicionado na horizontal, vertical ou inclinado.

Figura 14 – Martelo perfurador



Fonte: Bosch (2024).

Posteriormente, o cabeçote da serra é acoplado no trilho juntamente com a serra diamantada. Após isso, as mangueiras hidráulicas da central de comando são engatadas no cabeçote. Com a montagem concluída, o operador inicia o processo de corte, operando a máquina a partir da central de comando com uma distância de até 9 metros. À medida que o

o corte avança a serra se movimenta ao longo de todo o trilho guia, garantido a precisão e a linearidade do corte.

No caso em análise, a máquina é operada por um profissional enquanto um servente auxilia no deslocamento. Nesse sentido, a Figura 15 apresenta a operação do equipamento. Foi utilizada uma serra diamantada com diâmetro de 80 centímetros e o trilho metálico com 2 metros de comprimento. Após o equipamento percorrer esse comprimento, é necessário reposicionar o trilho. É válido destacar que o tempo de *setup* do equipamento, foi considerado dentro da base de dados para medir sua produtividade. Após a execução do corte em todo o comprimento da parede, o equipamento é relocado para um nível inferior com o auxílio de uma talha manual de corrente de 0,5 toneladas.

Figura 15 – Operação da *wall saw* na parede 25.1

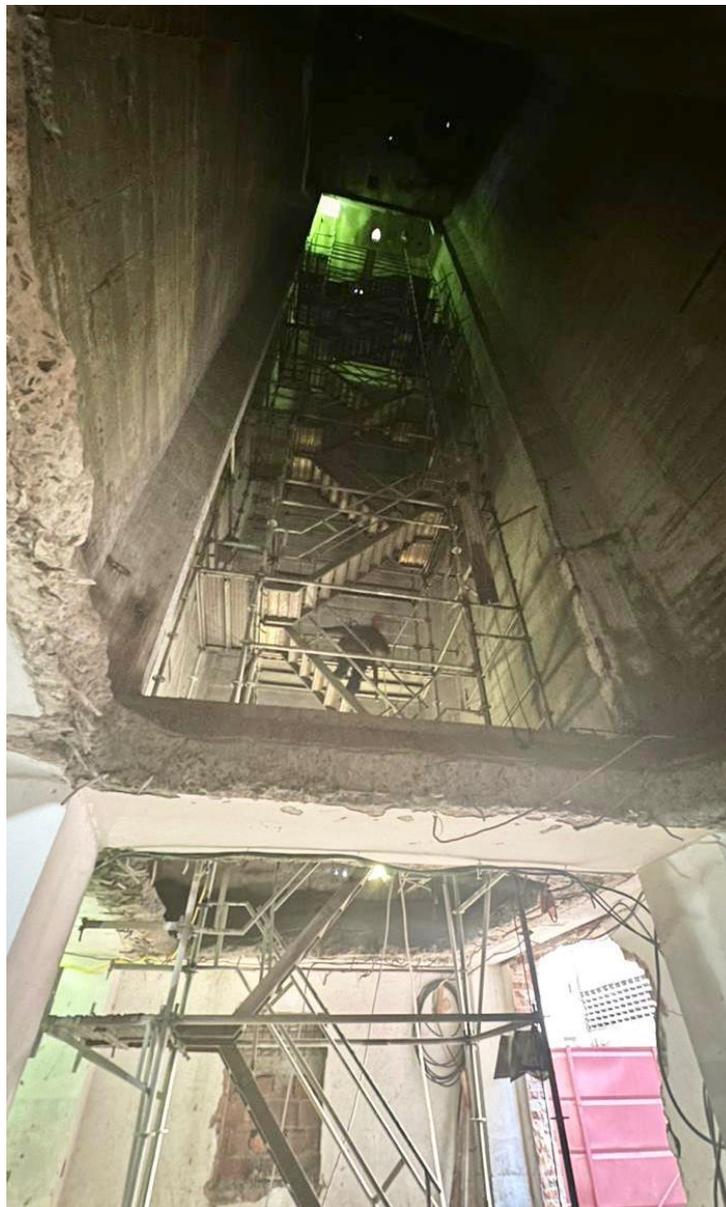


Fonte: Os Autores (2023).

A estrutura de acesso utilizada para a demolição da parede com a *wall saw* foi o andaime multidirecional metálico, conforme demonstrado na Figura 16. Isso se deu devido à necessidade

de manter um distanciamento de segurança entre os funcionários e o disco diamantado em operação, fator que impossibilitou o uso do equipamento no balancim.

Figura 16 – Estrutura de andaime do silo 25



Fonte: Os Autores (2023).

### 3.1.3 Diferenças na utilização dos equipamentos

Uma das maiores diferenças na utilização dos dois equipamentos é o tamanho dos fragmentos gerados na demolição. O martelo rompedor gera resíduos com granulometria variável, enquanto a serra cortadora gera blocos retangulares que chegam a 2 x 1,3 metros, conforme ilustrado na Figura 17. Tal fator influencia na logística da obra e pode inviabilizar a utilização da *wall saw* em determinadas paredes.

Por exemplo, em alguns silos, têm-se a permanência do seu funil, por razões arquitetônicas do empreendimento, impossibilitando a projeção das peças demolidas. Considerando que os blocos podem ser lançados a uma altura de até 18 metros, isso poderia resultar em um grande impacto na estrutura permanente e dificultar a sua remoção.

Figura 17 – Fragmentos da demolição: martelo rompedor (esquerda) *wall saw* (direita)



Fonte: Os Autores (2024).

É válido destacar que, na execução da demolição com a *wall saw*, a armadura é cortada e tombada juntamente com o bloco de concreto, enquanto no martelo rompedor o processo de desconstrução acontece em duas etapas, conforme citado anteriormente.

As diferenças empregadas na demolição, para cada tipo de ferramenta citada anteriormente, estão sintetizadas na Tabela 2. Esta análise destaca as distintas abordagens adotadas na operação de cada equipamento, delineando suas particularidades e implicações práticas. Ao explorar essas diferenças, é possível compreender mais plenamente os desafios e benefícios inerentes a cada método, fornecendo *insights* valiosos para a seleção da abordagem mais adequada em contextos específicos de demolição de paredes de concreto armado.

Tabela 2 – Diferenças dos equipamentos

<b>Descrição</b>	<b>Martelo Rompedor</b>	<b>Wall Saw</b>
Estrutura de acesso	Andaime suspenso	Andaime multidirecional
Quantidade de funcionários	1	2
Tamanhos dos fragmentos	Fragmentos pequenos	Blocos grandes
Geração de partículas suspensas no ar	Sim	Não
Etapas de demolição (concreto e aço)	2	1
Aplicabilidade	Sem restrições	Áreas livres para tombamento das peças
Operação do equipamento	Serventes com treinamento básico	Profissionais qualificados (operador de máquinas)

Fonte: Os Autores (2024).

### 3.2 METODOLOGIA DA COLETA DE DADOS

A metodologia de coleta de dados, delineada neste estudo, visa primeiramente estabelecer um padrão para a medição dos índices de produtividade no contexto do serviço de demolição de paredes de concreto armado. Carraro (1998) reforça que a metodologia aplicada não deve interferir a condução do serviço, sendo de forma prática e rápida. Para realizar o cálculo do indicador com precisão, é preciso que os dados necessários sejam coletados diariamente em campo pela equipe da administração da obra, encarregados, técnicos de edificações, estagiários e auxiliares de engenharia.

Em relação a mão de obra, foi considerada a produtividade da mão de obra direta ( $RUP_{dir}$ ) da execução da atividade, composto por profissionais e ajudantes. A quantidade do serviço executado foi medida de maneira “líquida” ( $Q_{S_{liq}}$ ), conforme mencionado no Item 2.1.2.1, sendo o total do volume demolido da parede. No caso do estudo em questão, essa medida consistirá na metragem cúbica da demolição.

Em relação ao tempo de atividade, foi considerado o período no qual o funcionário esteve presente no canteiro de obras, geralmente 9 horas de segunda-feira a quinta-feira e 8 horas nas sextas-feiras, totalizando 44 horas semanais. Cabe destacar que, foram descontadas as horas atrasadas ou as saídas antes do fim do expediente. Portanto, a medida de produtividade será homens-hora por metro cúbico ( $Hh/m^3$ ).

A medição do estudo, ocorreu no início do expediente de trabalho, sendo coletado a produção do serviço realizado pela equipe no dia anterior, através de uma trena métrica calibrada, são levantadas a largura, altura e espessura da peça demolida, com a finalidade de obter o seu volume. Além disso, registra-se o número de funcionário presentes em cada equipe, quantidade de horas trabalhadas no dia e o equipamento utilizado na execução do serviço.

Com as informações coletadas, é preenchido a Tabela 3, no aplicativo da *Microsoft Excel*, que servirá de base para o cálculo do indicador. Importante ressaltar, que cada parede demolida terá uma planilha.

Tabela 3 – Exemplo de formulário utilizado na coleta de dados

Parede X					
Quant. de Dias	Data	Horas Trabalhadas no Dia	Quantidade de Funcionários	Volume Demolido (m <sup>3</sup> )	Equipamento Utilizado
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
<b>Total</b>					

Fonte: Os Autores (2023).

A responsabilidade pela quantificação dos materiais e equipamentos utilizados é atribuída ao almoxarife e seus auxiliares. Isso se deve ao fato de que os funcionários de campo obtêm diretamente do almoxarifado os suprimentos necessários para a execução do serviço, garantindo um controle mais eficaz. Os responsáveis por registrar a retirada dos insumos fazem esse registro diariamente, documentando o que foi retirado por cada equipe. Para padronizar e facilitar esse processo, foram disponibilizadas duas planilhas padrão no *Microsoft Excel*: a Tabela 4, relacionada à utilização da *wall saw*; e a Tabela 5, relacionada ao uso do martelo rompedor. Após a conclusão da demolição de cada parede, a planilha é encaminhada à equipe de engenharia para análise.

Tabela 4 – Exemplo de formulário utilizado para o levantamento dos equipamentos e materiais utilizados na demolição com a *wall saw*

<b>Parede X</b>						
	<b>EQUIPAMENTO</b>			<b>MATERIAL</b>		
<b>Data</b>	<b>Wall Saw</b>	<b>Martelete</b>	<b>Talha</b>	<b>Disco de Serra Ø = 80 cm</b>	<b>Broca 16 mm</b>	<b>Parabolt 5/8"</b>
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: Os Autores (2023).

Tabela 5 – Exemplo de formulário utilizado para o levantamento de equipamentos e materiais utilizados na demolição com o martelo rompedor

<b>Parede X</b>				
	<b>EQUIPAMENTO</b>		<b>MATERIAL</b>	
<b>Data</b>	<b>Martelo Rompedor</b>	<b>Esmerilhadeira</b>	<b>Ponteiro</b>	<b>Disco de Corte</b>
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: Os Autores (2023).

### 3.3 MÉTODO DE CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE

O presente estudo visa calcular e comparar a Razão Unitária de Produção Diária ( $RUP_d$ ), a Razão Unitária de Produção Cumulativa ( $RUP_{cum}$ ), a Razão Unitária de Produção Cíclica ( $RUP_{cic}$ ), a Razão Unitária de Produção Potencial ( $RUP_{pot}$ ) e a perda percentual da produtividade da mão de obra (Perda MO (%)) entre os dois equipamentos utilizados durante o processo de demolição das paredes de concreto armado.

É importante destacar que, conforme detalhado anteriormente, a demolição com o uso do martelo rompedor ocorre em duas etapas. Sendo assim, as horas dedicadas ao corte da armadura foram distribuídas proporcionalmente, com base na quantidade de horas trabalhadas durante os dias de demolição do concreto, conforme a Equação (4). Essa distribuição de horas considera que houve o corte do aço no trecho demolido de cada dia, permitindo a avaliação dos indicadores pertinentes.

$$\text{Horas adicionadas por dia} = \left( 1 + \frac{\sum h_{\text{aço}}}{\sum h_{\text{con}}} \right) \times h_{\text{con}} \quad (4)$$

No qual:

- $h_{\text{aço}}$ : Horas dedicadas ao corte do aço por dia;
- $h_{\text{con}}$ : Horas dedicadas a demolição do concreto por dia;

Para realizar tais análises, adotou-se o método da razão unitária diária, conforme representado pela Equação (5). Esse método é reconhecido pela sua capacidade de fornecer resultados de maneira ágil, possibilitando à equipe da administração da obra analisar e intervir em eventuais problemas com maior eficiência.

$$\text{RUP}_d = \frac{Hh_d}{Q_{S_d}} \quad (5)$$

Onde:

- $\text{RUP}_d$ : Razão Unitária de Produção Diária, expressa em homens-hora por metro cúbico ( $\text{Hh}/\text{m}^3$ );
- $Hh_d$ : Homens-hora do atual dia. Calculado multiplicando-se a quantidade de horas trabalhadas no dia da demolição da parede pela quantidade de funcionários diretamente envolvidos na atividade; e
- $Q_{S_d}$ : Volume demolido da parede no dia em metros cúbico ( $\text{m}^3$ ).

O  $\text{RUP}_{\text{cum}}$ , é calculado ao longo da execução do serviço, obtendo a razão entre o valor acumulado de homens-hora e o volume demolido acumulado, como demonstrado pela Equação (6). Essa métrica é útil para identificar tendências de longo prazo, amortecendo os efeitos de

variações pontuais observadas durante o serviço. É importante destacar que o valor do  $RUP_{cum}$  no último dia da execução do serviço é igual ao valor do  $RUP_{cic}$ .

$$RUP_{cum} = \frac{Hh_{acum\ d-1} + Hh_d}{Qs_{acum\ d-1} + Qs_d} \quad (6)$$

Onde:

- $RUP_{cum}$ : Razão Unitária de Produção Cumulativa, medida em homens-hora por metro cúbico ( $Hh/m^3$ );
- $Hh_{acum\ d-1}$ : Valor acumulado de homens-hora até o dia anterior;
- $Hh_d$ : Valor de homens-hora do dia atual;
- $Qs_{acum\ d-1}$ : Volume demolido acumulado do dia anterior, medido em metros cúbico ( $m^3$ ); e
- $Qs_d$ : Volume demolido do dia atual, também medido em metros cúbicos ( $m^3$ ).

O  $RUP_{pot}$  será determinado conforme apresentado na Tabela 1, sendo a mediana dos valores do  $RUP_d$  inferiores ao  $RUP_{cum}$ , enquanto a perda da mão de obra será computada utilizando a Equação (3).

Após obter os indicadores, será realizada uma média ponderada dos valores do  $RUP_{cic}$  para cada método de demolição, relacionando o valor do indicador com o volume demolido de cada parede ( $Qs$ ), conforme a Equação (7). Essa abordagem permitirá a obtenção do valor médio do RUP para cada método desconstrutivo. E por fim, será realizada a análise comparativa.

$$\overline{RUP} = \frac{Qs_1 \times RUP_{cic_1} + Qs_2 \times RUP_{cic_2}}{Qs_1 + Qs_2} \quad (7)$$

Onde:

- $\overline{RUP}$ : Média ponderada da Razão Unitária de Produção de cada método ( $Hh/m^3$ );
- $RUP_{cic_1}$ : Razão Unitária de Produção Cíclica da parede 1 ( $Hh/m^3$ );
- $RUP_{cic_2}$ : Razão Unitária de Produção Cíclica da parede 2 ( $Hh/m^3$ );
- $Qs_1$ : Quantidade de Serviço executado da parede 1 ( $m^3$ ); e
- $Qs_2$ : Quantidade de Serviço executado da parede 2 ( $m^3$ ).

### 3.4 MÉTODO DE CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO

A precificação da parede será baseada exclusivamente nos custos diretos executivos do serviço, dado que os custos indiretos variam de uma obra para outra e de acordo com a região, logo tais despesas não serão consideradas no cálculo. Assim, a composição do preço do serviço incluirá o valor da hora do funcionário, o custo da locação dos equipamentos, o custo da locação da estrutura de acesso e o custo dos materiais utilizados. Cabe destacar que o cálculo das despesas será realizado individualmente para cada parede demolida.

Para compor o valor do serviço, foram seguidas as premissas descritas abaixo:

- Foi considerado o custo diário dos equipamentos locados. Para calcular o custo diário dos itens locados mensalmente, será adotado o mês padrão de 30 dias. Portanto, o valor do aluguel mensal será dividido por 30 dias;
- Os dias não trabalhados, como finais de semana ou feriados, que estiverem no intervalo de tempo da execução da atividade, serão adicionados na quantidade de dias da utilização dos itens locados;
- O tempo de montagem e desmontagem das estruturas de acesso será incluído na quantidade de dias de sua utilização, assim como as horas dos funcionários que executaram esses serviços;
- Os dados sobre os pisos salariais foram coletados da tabela salarial do sindicato dos trabalhadores da construção civil atuante na capital pernambucana (sindicato Marreta), lançada em junho de 2023. O valor da hora do funcionário será dividido por um mês padrão com 180 horas trabalhadas.

A Tabela 6 apresenta os valores da mão de obra, materiais, equipamentos e acessórios no mês de março de 2024, com a transformação dos valores para a unidade a unidade unitária utilizada no estudo.

Tabela 6 – Tabela de preços unitários de insumos considerados para fins deste estudo

Descrição	Valor	Unidade de Medida	Divisor	Preço Unitário
Servente	R\$ 1.546,60	Mês	180	R\$ 8,59
Profissional	R\$ 2.054,80	Mês	180	R\$ 11,42
Martelo Rompedor 1.500 W	R\$ 530,00	Mês	30	R\$ 17,67
Esmerilhadeira Angular 7"	R\$ 150,00	Mês	30	R\$ 5,00
Perfuratriz Elétrica	R\$ 2.500,00	Mês	30	R\$ 83,33
Exaustor 3,0 CV	R\$ 1.300,00	Mês	30	R\$ 43,33
Wall Saw Hidráulica	R\$ 17.500,00	Mês	30	R\$ 583,33
Martelo Perfurador 2 kg	R\$ 150,00	Mês	30	R\$ 5,00
Talha Manual 0,5 T	R\$ 170,00	Mês	30	R\$ 5,67
Balança Elétrica 4m	R\$ 1.950,00	Mês	30	R\$ 65,00
Andaime Multidirecional	R\$ 14.167,00	Mês	30	R\$ 472,23
Coroa Diamantada 112mm	R\$ 820,03	Unidade	1	R\$ 820,03
Ponteiro para Rompedor 11 kg	R\$ 60,00	Unidade	1	R\$ 60,00
Disco de Corte 7"	R\$ 8,60	Unidade	1	R\$ 8,60
Disco de Serra 80 cm	R\$ 6.176,52	Unidade	1	R\$ 6.176,52
Broca SDS Plus 16x150x210mm	R\$ 39,90	Unidade	1	R\$ 39,90
Parabolt 5/8"	R\$ 6,99	Unidade	1	R\$ 6,99

Fonte: Os Autores (2024).

De posse do custo da demolição da parede, o próximo passo é o cálculo de outro parâmetro, o custo unitário de produção (CUP). Para isso, divide-se o custo total da demolição da parede ( $C_p$ ) pelo seu volume demolido ( $Q_s$ ), obtendo assim o valor por metro cúbico (R\$/m<sup>3</sup>) de cada parede, conforme a Equação (8).

$$CUP = \frac{C_p}{Q_s} \quad (8)$$

Onde:

- CUP: Custo Unitário de Produção, expresso em valor por metro cúbico (R\$/m<sup>3</sup>);
- $C_p$ : Custo total da demolição da parede (R\$); e
- $Q_s$ : Quantidade de Serviço executado, volume total demolido da parede (m<sup>3</sup>).

Após obter esse indicador para cada parede demolida, será realizada uma média ponderada para obter o CUP de cada método utilizado, conforme a Equação (9). Isso implica relacionar o custo total da demolição da parede com o seu volume demolido. Esse resultado possibilitará a comparação do valor de cada método.

$$\overline{CUP} = \frac{Q_{s1} \times CUP_1 + Q_{s2} \times CUP_2}{Q_{s1} + Q_{s2}} \quad (9)$$

Onde:

- $\overline{CUP}$ : Média ponderada do Custo Unitário de Produção médio do método, expresso em R\$/m<sup>3</sup>;
- $CUP_1$ : Custo Unitário de Produção da parede 1;
- $CUP_2$ : Custo Unitário de Produção da parede 2;
- $Q_{s1}$ : Quantidade de Serviço executado da parede 1 (volume total demolido da parede 1); e
- $Q_{s2}$ : Quantidade de Serviço executado da parede 2 (volume total demolido da parede 2).

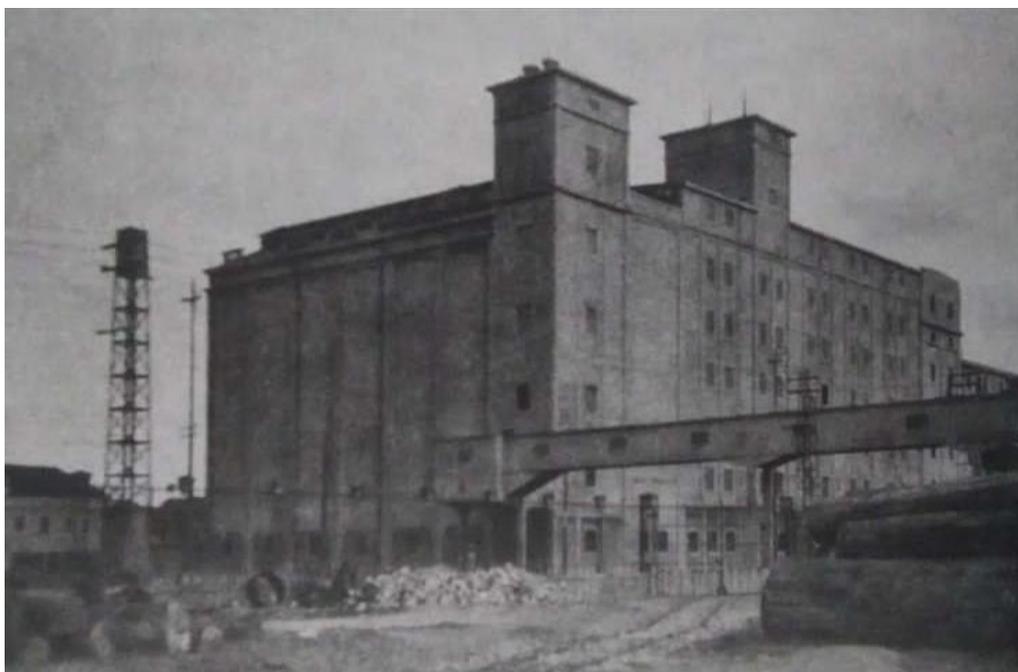
## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

No início do século XX, a cidade do Recife, realizava a importação de trigo de outras nações, para atender a demanda de abastecimento das indústrias de pães. Desta forma, em 1914, surgiu uma empresa, com o propósito de beneficiar os grãos que chegavam nos navios provenientes dos países vizinhos, situada na Rua de São Jorge (nº 240), Bairro do Recife, próximo ao porto da capital pernambucana. Dando origem a primeira fábrica de farinha da região do Nordeste, o Moinho Recife S/A (Moinho Recife, 2024).

No entanto, com base no avanço significativo e no amplo potencial evidenciado pelo desenvolvimento do Porto de Suape, em 2009, a empresa optou por desativar as instalações originais do moinho, que pode ser vista na Figura 18, para realocar suas operações para este terminal portuário, por consequência a edificação entrou para leilão em 2016 (Diário de Pernambuco, 2018), sendo arrematada por um grupo de incorporadoras, que em parceria com a construtora Moura Dubeux, lançou o Projeto Moinho Recife *Business & Life*, apresentado na Figura 19.

Figura 18 – Edificação dos moinhos, na Rua de São Jorge, 240, Bairro do Recife



Fonte: Toscano (2017).

Figura 19 – Projeto Moinho Recife *Business & Life*

Fonte: Moura Dubeux (2021).

O empreendimento abrange áreas destinadas à lazer, comércio e residência, além de um edifício garagem, conforme apresentado na Figura 20. O complexo conta com 595 vagas rotativas, um shopping com até 14 lojas, espaços de escritórios e 251 unidades residenciais, sendo 187 localizadas no prédio Silo 215 e 64 no prédio Silo 240 (Moinho Recife, 2024). Dentro do empreendimento, a Moura Dubeux assumiu a responsabilidade pela execução da parte residencial, cujas obras tiveram início em setembro de 2022 e com previsão de conclusão em fevereiro de 2025.

Figura 20 – Divisões dos edifícios do Projeto Moinho Recife Business &amp; Life



**Legenda:**  Silo 215  Silo 240  Área Comercial  Edifício Garagem

Fonte: Adaptado de Moura Dubeux (2021).

#### 4.1.1 Silo 240

Dentro no complexo do Moinho Recife, o estudo se baseará no edifício residencial denominado de Silo 240. Constituído por 25 silos de seção retangular, com dimensões variando entre 3,5 metros e 4,5 metros, as paredes possuem seção transversal trapezoidal, com 20,01 metros de altura, com espessura variando de 12,50 cm no topo e 20 cm na base. O antigo local de armazenamento de grãos passará a ser um edifício residencial. O projeto de *retrofit* busca manter as principais características da construção original, conforme Figura 21.

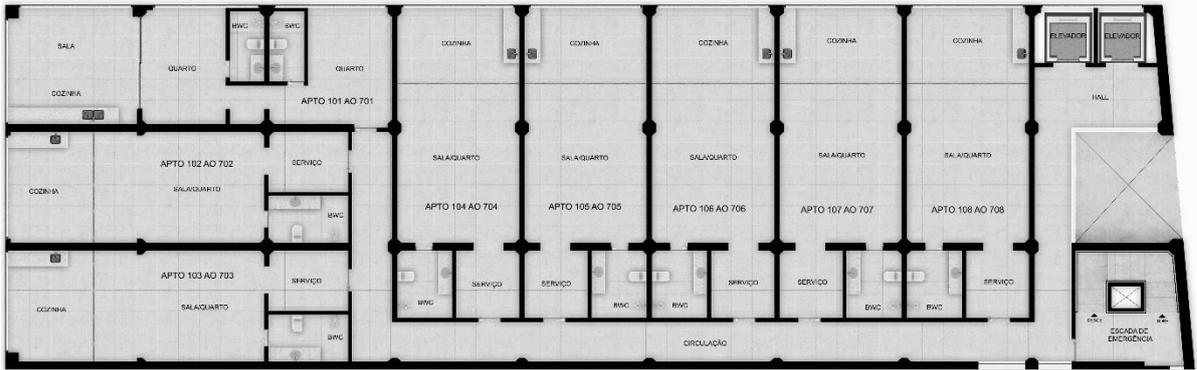
Figura 21 – Fachada original do Silo 240 (esquerda) e projeto do *retrofit* (direita)



Fonte: Moura Dubeux (2021).

A remodelação do imóvel envolve a adaptação da estrutura para apartamentos residências de 1 ou 2 quartos, com áreas variando de 57 a 68 m<sup>2</sup>, como evidenciado na Figura 22. O edifício terá 8 pavimentos tipo, cada andar conta com 8 apartamentos, totalizando 64 unidades habitacionais. Além disso, a edificação contará com um teto verde, terraço, piscina e sala de jogos.

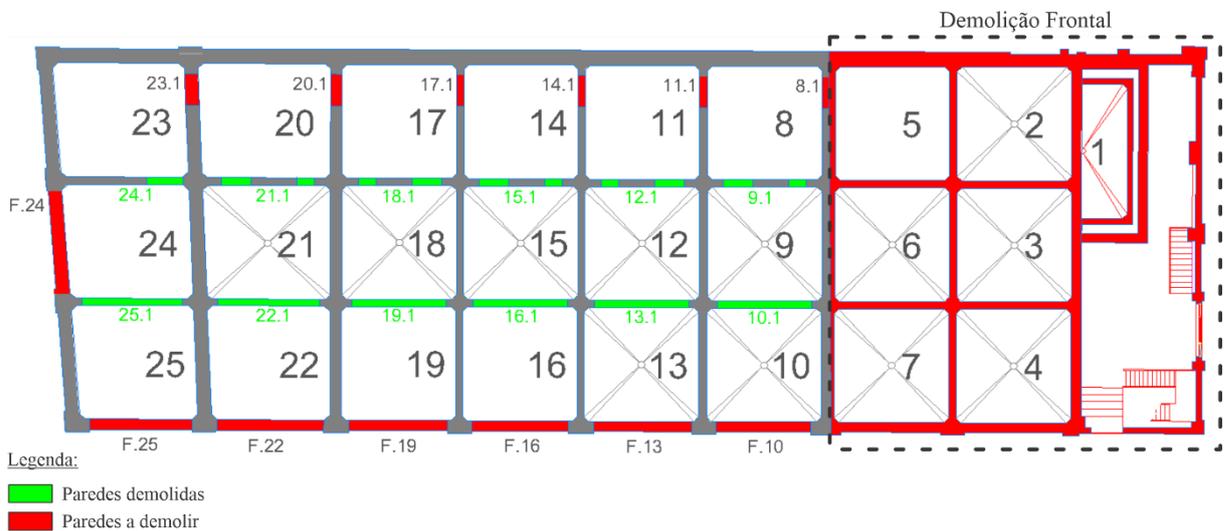
Figura 22 – Planta Baixa dos pavimentos tipos do Silo 240



Fonte: Moura Dubeux (2021).

No entanto, para implementar a nova funcionalidade proposta ao imóvel, é imprescindível a execução de uma desconstrução parcial do silo. O plano de demolição, das paredes do Silo 240, fica evidenciado na Figura 23, sendo estimado um volume de demolição de 1.025 m<sup>3</sup>. Uma parte dos resíduos gerados na desconstrução do empreendimento foi beneficiada e utilizada como base de aterro em outra obra da construtora pernambucana. A outra parte foi destinada aos aterros de resíduos da construção civil, conforme indicado do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em sua Resolução 307 (2002) e sua atualização a Resolução 348 (2004).

Figura 23 – Planta de demolição



Fonte: Os Autores (2024).

A Figura 23 mostra a denominação, realizada pela equipe da administração da obra, dos silos e das paredes que serão demolidas. Essa ação teve como objetivo melhorar a comunicação no canteiro de obra. Os silos foram numerados de 1 a 25 (numeração com tamanho maior), enquanto as paredes foram nomeadas de acordo com a sua localização, seja na fachada ou nos

silos. A hachura verde representa as paredes que já foram demolidas, enquanto a vermelha representa as que ainda não foram demolidas, considerando informações até a presente data deste estudo.

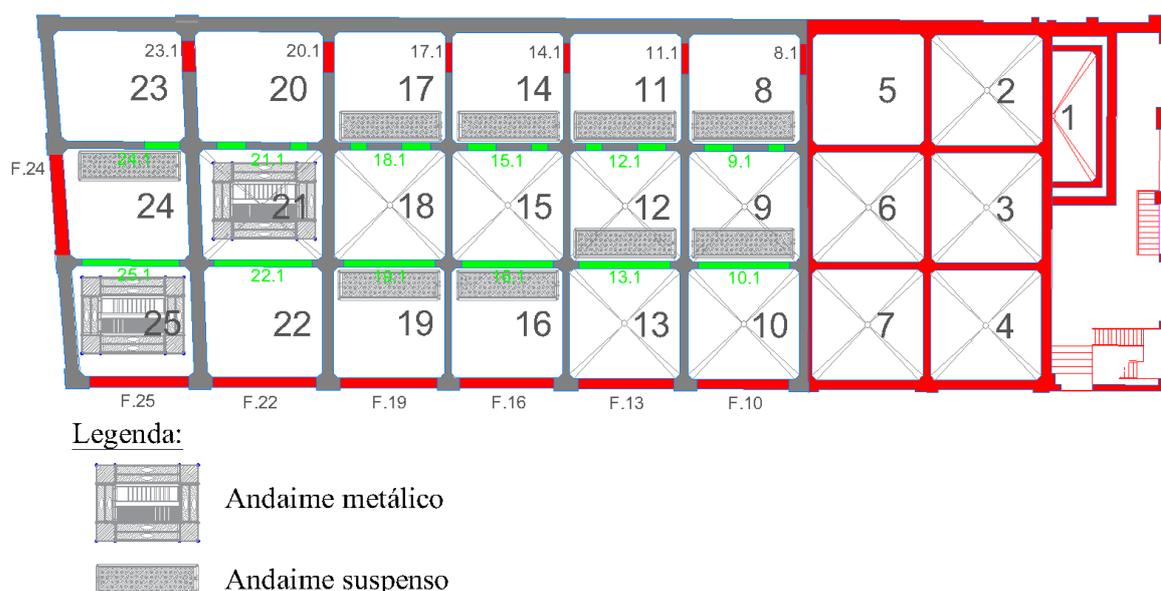
Ainda se pode verificar na Figura 23 que algumas paredes serão incorporadas à estrutura, sendo válido ressaltar, que havia o interesse na preservação de mais paredes, porém após a realização de ensaios de resistência constatou-se a inviabilidade do reaproveitamento. Caso da área destacada na imagem como “Demolição Frontal,” isso ocorreu devido à sua resistência à compressão e ao nível de corrosão da armadura, os quais foram considerados críticos para a construção futura.

#### 4.2 SELEÇÃO DE CASOS COMPARATIVOS

No presente estudo foram analisadas a demolição das paredes 16.1, 19.1, 22.1 e 25.1, conforme ilustrado na Figura 23, devido à sua execução similar, caracterizada pela demolição de cima para baixo de forma contínua, toda a extensão da parede. No entanto, nas duas primeiras paredes, a demolição foi realizada utilizando martelos rompedores de 1.500 W, com acesso à estrutura feito por meio de andaime suspenso. Enquanto isso, nas duas últimas paredes, a demolição foi executada com o uso da serra cortadora de parede, sobre um andaime metálico.

A Figura 24 fornece uma representação visual dos tipos de estruturas de acesso montadas e sua disposição para a demolição de cada parede. Essa visualização detalhada facilita a compreensão da logística envolvida na demolição de cada estrutura, a qual será discutida em detalhes a seguir.

Figura 24 – Mapeamento das estruturas de acesso



As demais estruturas foram demolidas utilizando martelos rompedores, com o auxílio dos andaimes suspensos elétricos. Contudo, nos silos 16 e 19 existia uma estrutura de escada vertical da própria edificação, próximo aos andaimes suspensos, servindo de rota de fuga para os funcionários. Nos silos 12 e 9, onde foi montada a balança elétrica para a demolição das paredes 13.1 e 10.1, não havia essa estrutura de escape. Portanto, foi necessário implementar uma estratégia de desconstrução que proporcionasse uma saída segura para os funcionários, utilizando a própria armação da parede demolida como rota de fuga. Consequentemente, o processo de execução começou de baixo para cima, demolindo apenas o centro da parede até atingir o topo, exemplificado pela Figura 25, seguido pela demolição das laterais das paredes de cima para baixo. Ao finalizar a demolição da parede, procedeu-se ao corte de sua armadura.

Figura 25 – Demolição da parede 13.1



Fonte: Os Autores (2023).

Enquanto isso, nas demais paredes já demolidas, foram removidos apenas os vãos das portas. Cada vão do mesmo nível apresentava dimensões distintas: um com 2,15 metros de altura e 1,15 de largura, e o outro com a mesma altura de 2,15 metros, mas com uma largura de 0,70 metros, além de suas espessuras variáveis. A área designada para a demolição de cada funcionário foi limitada, ficando um funcionário por vão. A Figura 26 ilustra a parede 19.1 demolidada, com a parede 18.1 ao fundo, mostrando seus respectivos vãos demolidos.

Figura 26 – Paredes 19.1 e 18.1 demolidas



Fonte: Os Autores (2023).

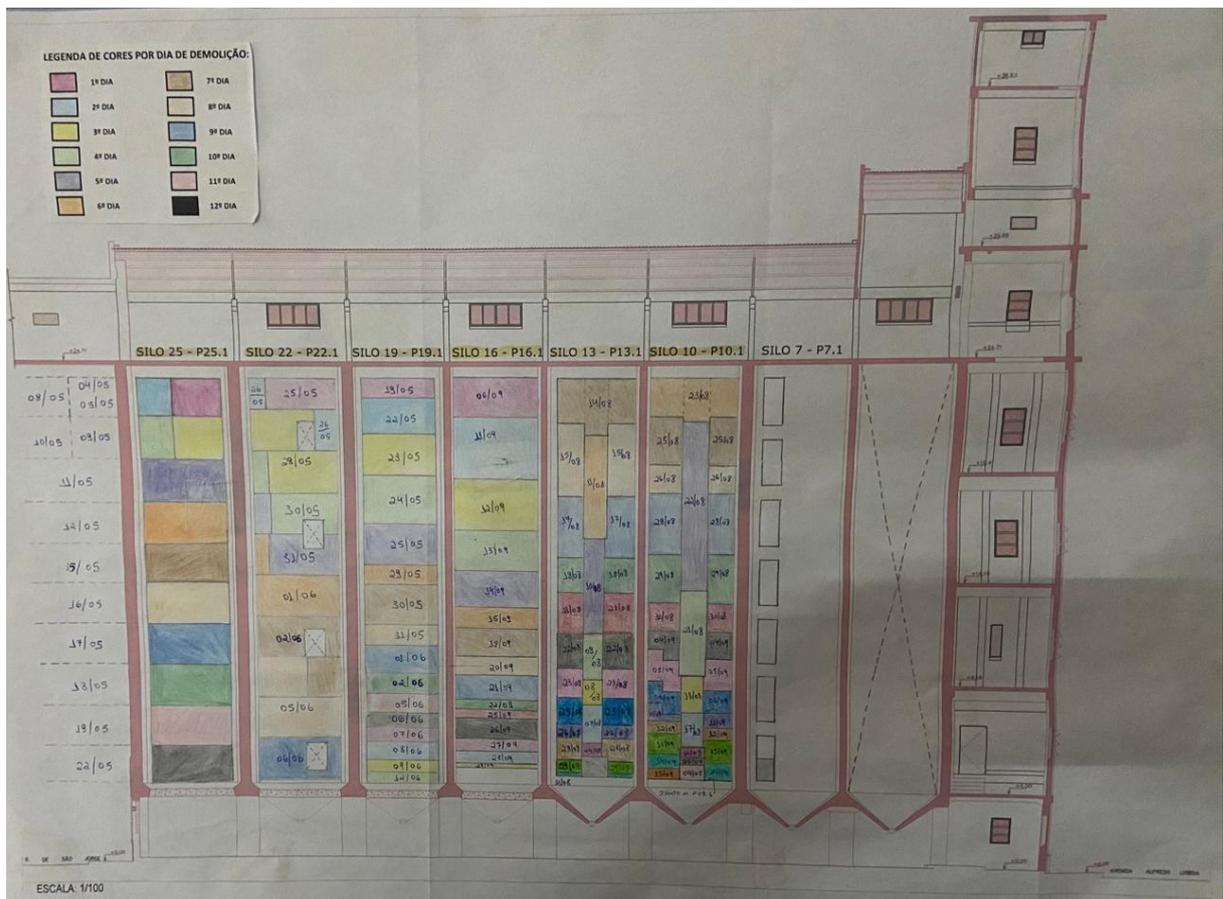
Levando-se em consideração, que o método adotado para as demais paredes, possui características muito divergentes das paredes 16.1, 19.1, 22.1 e 25.1, não seria assertivo uma análise comparativa de produtividade entre elas. Dessa forma, o presente estudo se concentra na análise de produtividade e dos custos das 4 paredes citadas.

#### 4.3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Neste item, são apresentados os dados mensurados em campo, incluindo o índice de produtividade e o custo associado a demolição de cada parede. A coleta de dados seguiu a

metodologia descrita no Item 3.2. Adicionalmente, foi implementada uma gestão visual para auxiliar na administração do serviço, sendo atualizada diariamente com base na altura e na largura demolida das paredes, demonstrado na Figura 27. Ao todo, foram acompanhados 49 dias de demolição para a realização deste estudo.

Figura 27 – Gestão visual da demolição das paredes



Fonte: Moura Dubeux (2023).

Com base nos dados coletados também será realizado o cálculo do índice de produtividade e do custo de cada parede, seguindo os conceitos descritos nos itens 3.3 e 3.4, respectivamente. Esses indicadores proporcionaram uma avaliação clara e objetiva do progresso e eficiência das metodologias adotadas ao longo do tempo, permitindo uma análise comparativa dos resultados obtidos.

#### 4.3.1 Análise dos dados de demolição com a utilização da *wall saw*

As paredes 22.1 e 25.1 foram demolidas utilizando a *wall saw*, operada por um profissional cuja função é operador de máquinas, além de um servente que o auxiliava. O Item 3.1.2 descreve o procedimento seguido na demolição com o equipamento de corte.

#### 4.3.1.1 Parede 25.1

O processo de demolição teve início em 5 de maio de 2023 e foi concluída no dia 22 de maio de 2023, totalizando 12 dias de trabalho. A parede possuía uma largura de 4 metros, altura de 20,01 metros e a sua espessura variava de 13 centímetros no topo a 18 centímetros na base. O volume total demolido foi de 12,52m<sup>3</sup>. Os dados detalhados da demolição da parede 25.1 estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Coleta de dados da demolição da parede 25.1

Parede 25.1					
Dia	Data	Horas Trabalhadas no Dia	Quantidade de Funcionários	Volume Demolido (m <sup>3</sup> )	Equipamento Utilizado
1	05/05/2023	8	2	0,53	Wall Saw
2	08/05/2023	9	2	0,41	Wall Saw
3	09/05/2023	9	2	0,53	Wall Saw
4	10/05/2023	9	2	0,40	Wall Saw
5	11/05/2023	9	2	1,04	Wall Saw
6	12/05/2023	8	2	1,20	Wall Saw
7	15/05/2023	9	2	1,28	Wall Saw
8	16/05/2023	9	2	1,44	Wall Saw
9	17/05/2023	9	2	1,44	Wall Saw
10	18/05/2023	9	2	1,44	Wall Saw
11	19/05/2023	8	2	1,44	Wall Saw
12	22/05/2023	9	2	1,37	Wall Saw
<b>Total</b>		<b>105</b>	<b>2</b>	<b>12,52</b>	

Fonte: Os Autores (2023).

A parede 25.1 foi a primeira a ser demolida com a serra cortadora. Em virtude disso, os primeiros quatro dias da operação foram dedicados ao treinamento e adaptação do operador e de seu auxiliar, conforme observado pela diferença no volume demolido e do valor do RUP<sub>d</sub>, apresentado na Tabela 8, durante esse período em comparação aos dias subsequentes. Além disso, essa fase inicial foi destinada à realização de testes e estudos relacionados ao comportamento da queda dos blocos de concreto armado cortados.

Com base nos dados coletados, conforme apresentado na Tabela 7, foi realizado o cálculo do indicador da demolição da parede, como documentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Produtividade da parede 25.1

Dia	Hh Diário	Qs Diário (m³)	RUP <sub>d</sub> (Hh/m³)	Hh Cumulativo	Qs Cumulativo (m³)	RUP <sub>cum</sub> (Hh/m³)	RUP <sub>pot</sub>
1	16	0,53	30,39	16	0,53	30,39	-
2	18	0,41	43,96	34	0,94	36,32	-
3	18	0,53	33,74	52	1,47	35,39	-
4	18	0,40	44,72	70	1,87	37,39	-
5	18	1,04	17,31	88	2,91	30,22	-
6	16	1,20	13,33	104	4,11	25,29	13,33
7	18	1,28	14,06	122	5,39	22,63	14,06
8	18	1,44	12,50	140	6,83	20,49	12,50
9	18	1,44	12,50	158	8,27	19,10	12,50
10	18	1,44	12,50	176	9,71	18,12	12,50
11	16	1,44	11,11	192	11,15	17,22	11,11
12	18	1,37	13,16	210	12,52	16,77	13,16
<b>Total</b>	<b>210</b>	<b>12,52</b>				<b>16,77</b>	<b>12,50</b>

Fonte: Os Autores (2024).

Ao analisar a coluna do RUP<sub>d</sub> da Tabela 8, observa-se que o último dia de treinamento (10/05/2023) foi o dia menos produtivo, com valor de 44,72 Hh/m³, enquanto o dia mais produtivo ocorreu no penúltimo dia da execução da parede (19/05/2023), registrando um valor de 11,11 Hh/m³. Ao acumular as Homens-hora e o volume demolido, chega-se ao valor do RUP<sub>cum</sub> final de 16,77 Hh/m³.

Nota-se na última coluna Tabela 8, que em sete dias o valor do RUP<sub>d</sub> foi inferior ao RUP<sub>cum</sub>, em posse desses valores é determinada a mediana da amostra, sendo esse o valor do RUP<sub>pot</sub>, conforme apresentado a seguir:

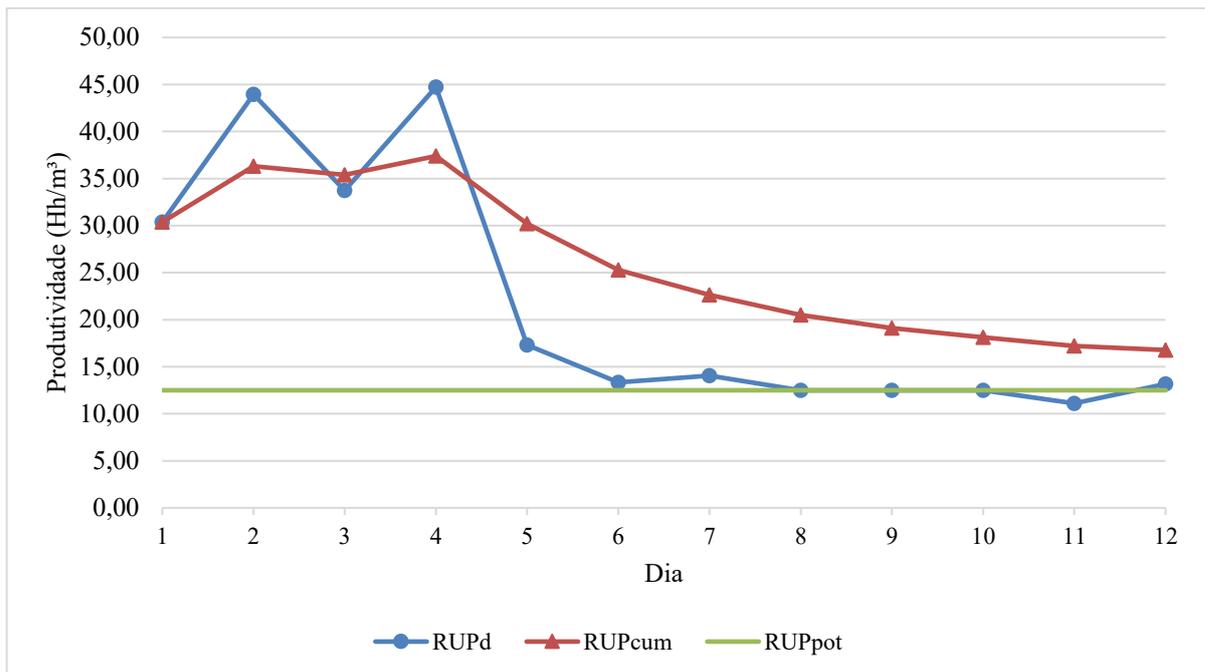
$$RUP_{pot} = \{11,11; 12,50; 12,50; 12,50; 13,16; 13,33; 14,06\} = 12,50 \text{ Hh/m}^3$$

Ao aplicar a Equação (3), para calcular a porcentagem de perda da mão de obra, constata-se que a depreciação dos recursos humanos na execução da atividade alcançou o índice significativo de 34,19%, conforme verifica-se abaixo:

$$\text{Perda MO} = \frac{(16,77 - 12,50)}{12,50} \times 100 = 34,19\%$$

A Figura 28 representa graficamente os índices de produtividade da demolição da parede 25.1, permitindo uma visualização mais detalhada do indicador.

Figura 28 – Análise gráfica das produtividades da parede 25.1



Fonte: Os Autores (2024).

Observando a curva do  $RUP_d$ , é evidente que nos primeiros 4 dias houve uma situação atípica, como justificado anteriormente. Além disso, pode-se observar o progresso do indicador diário e acumulado ao longo do tempo. Após o quinto dia de trabalho, o índice se estabiliza, variando apenas 2,95 Hh/m<sup>3</sup> durante os últimos 7 dias. Vale ressaltar que três dias apresentam o mesmo valor de 12,50 Hh/m<sup>3</sup>, o que justifica o valor ideal da produção ( $RUP_{pot}$ ) ser esse.

Ao examinar a curva do  $RUP_{cum}$ , é evidente que a métrica vem apresentando uma tendência de diminuição ao longo da execução da atividade. Essa observação indica uma melhoria progressiva na eficiência do processo conforme o avanço do tempo. Esse padrão sugere que houve uma curva de aprendizagem do operador e de seu auxiliar, resultando em um uso mais eficiente do equipamento.

Por fim, outro indicador a ser calculado e analisado é o custo unitário de produção (CUP). Para isso, é fundamental o conhecimento dos materiais e equipamentos utilizados na execução do serviço, conforme apresentado na Tabela 9. Nela, observa-se que foi utilizado 1 *wall saw*, 1 martelete e 1 talha manual durante todo o período do serviço (12 dias). Em relação aos materiais, foram necessários a utilização de 156 *parabolts* 5/8", além de 1 disco de serra de 80 cm e 1 broca 16 mm para conclusão do serviço.

Tabela 9 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 25.1

Parede 25.1						
Data	EQUIPAMENTO			MATERIAL		
	Wall Saw	Martelete	Talha	Disco de Serra Ø = 80 cm	Broca 16 mm	Parabolt 5/8"
05/05/2023	1	1	1	1	1	12
08/05/2023	1	1	1	-	-	10
09/05/2023	1	1	1	-	-	10
10/05/2023	1	1	1	-	-	10
11/05/2023	1	1	1	-	-	14
12/05/2023	1	1	1	-	-	18
15/05/2023	1	1	1	-	-	16
16/05/2023	1	1	1	-	-	10
17/05/2023	1	1	1	-	-	16
18/05/2023	1	1	1	-	-	16
19/05/2023	1	1	1	-	-	12
22/05/2023	1	1	1	-	-	12
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>156</b>

Fonte: Os Autores (2023).

Outro aspecto crucial diz respeito à estrutura de acesso planejada para a demolição. Essa foi montada em um período de três dias, compreendendo os dias 2 a 4 de maio de 2023, e desmontada em dois dias, nos dias 23 e 24 de maio do mesmo ano. A equipe responsável por esses procedimentos era constituída por seis serventes, os quais dedicaram um total de 45 horas ao processo de montagem e desmontagem do andaime. Assim sendo, foram 270 homens-hora atrelado ao manuseio da estrutura de acesso.

Para completar as informações da demolição da parede, é necessário calcular as despesas incorridas no processo e o seu custo unitário de produção (CUP), seguido as diretrizes delineadas no Item 3.4. Os desembolsos associados a execução do serviço estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Despesas da demolição da parede 25.1

<b>Tipo de Despesa</b>	<b>Quant.</b>	<b>Unid. de Medida</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Subtotal</b>	<b>%</b>
Servente – Montagem de andaime	270	Hora	R\$ 8,59	R\$ 2.319,90	6,97%
Servente – Demolição	105	Hora	R\$ 8,59	R\$ 902,18	2,71%
Profissional – Demolição	105	Hora	R\$ 11,42	R\$ 1.198,63	3,60%
Wall Saw	18	Dia	R\$ 583,33	R\$ 10.500,00	31,55%
Martelo perfurador	18	Dia	R\$ 5,00	R\$ 90,00	0,27%
Talha 0,5 T	18	Dia	R\$ 5,67	R\$ 102,00	0,31%
Disco de serra 80 cm	1	Unidade	R\$ 6.176,52	R\$ 6.176,52	18,56%
Broca 16 mm	1	Unidade	R\$ 39,9	R\$ 39,90	0,12%
Parabolt 5/8"	156	Unidade	R\$ 6,99	R\$ 1.090,44	3,28%
Andaime multidirecional	23	Dia	R\$ 7,03	R\$ 10.861,37	32,64%
<b>Total de Despesas</b>				<b>R\$ 33.280,94</b>	<b>100%</b>

Fonte: Os Autores (2024).

O valor total da demolição da parede foi de 33.280,94 reais, dos quais 39,61% foram designados a estrutura de acesso e 60,39% destinados à demolição direta. Do montante final, as alocações foram distribuídas da seguinte forma: 13,28% para mão de obra, 32,13% para locação de equipamentos, 21,96% para aquisição de materiais e acessórios e 32,64% para locação do andaime.

O CUP foi calculado dividindo o custo total da parede pelo volume demolido, obtendo um valor de 2.658,22 reais por metro cúbico, conforme demonstrado no cálculo abaixo.

$$\text{CUP} = \frac{33.280,94}{12,52} = 2.658,22 \text{ R\$/m}^3$$

#### 4.3.1.2 Parede 22.1

A demolição da parede 22.1 foi iniciada no dia 25 de maio de 2023 e finalizada no dia 6 de junho de 2023, contabilizando 9 dias de trabalho ininterruptos. A parede apresentava uma geometria com 4,05 metros de largura, 20,01 metros de altura e sua espessura variando de 12,5 centímetros no topo a 18 centímetros na base. Antes do início da demolição, foram abertos 4 vãos na parede para garantir uma melhor circulação de ar durante o trabalho, conforme apresentado na Figura 27.

É importante ressaltar que, de acordo com o procedimento de levantamento da quantidade de serviço executado descrito no Item 3.2, os volumes desses vãos, que foram previamente demolidos para melhorar as condições de trabalho, não foram incluídos na produção da equipe, sendo considerado o  $Q_{sliq}$ . Portanto, o volume total da demolição foi de 12 m<sup>3</sup>. A Tabela 11 apresenta os dados coletados durante a execução do serviço.

Tabela 11 – Coleta de dados da demolição da parede 22.1

Parede 22.1					
Quant. de Dias	Data	Horas Trabalhadas no Dia	Quantidade de Funcionários	Volume Demolido (m <sup>3</sup> )	Equipamento Utilizado
1	25/05/2023	9	2	0,59	Wall Saw
2	26/05/2023	8	2	0,48	Wall Saw
3	29/05/2023	9	2	1,71	Wall Saw
4	30/05/2023	9	2	1,16	Wall Saw
5	31/05/2023	9	2	1,24	Wall Saw
6	01/06/2023	9	2	1,50	Wall Saw
7	02/06/2023	8	2	1,70	Wall Saw
8	05/06/2023	9	2	2,27	Wall Saw
9	06/06/2023	9	2	1,35	Wall Saw
<b>Total</b>		<b>79</b>	<b>2</b>	<b>12,00</b>	

Fonte: Os Autores (2023).

A partir da obtenção e análise das informações coletadas, os cálculos das produtividades da parede foram realizados e estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Produtividade da parede 22.1

Dia	Hh Diário	Qs Diário (m <sup>3</sup> )	RUP <sub>d</sub> (Hh/m <sup>3</sup> )	Hh Cumulativo	Qs Cumulativo (m <sup>3</sup> )	RUP <sub>cum</sub> (Hh/m <sup>3</sup> )	RUP <sub>pot</sub>
1	18	0,59	30,61	18	0,59	30,61	-
2	16	0,48	33,26	34	1,07	31,81	-
3	18	1,71	10,52	52	2,78	18,71	10,52
4	18	1,16	15,55	70	3,94	17,78	-
5	18	1,24	14,54	88	5,17	17,01	-
6	18	1,50	11,97	106	6,68	15,87	11,97
7	16	1,70	9,41	122	8,38	14,56	9,41
8	18	2,27	7,92	140	10,65	13,14	7,92
9	18	1,35	13,32	158	12,00	13,16	-
<b>Total</b>	<b>158</b>	<b>12,00</b>				<b>13,16</b>	<b>9,97</b>

Fonte: Os Autores (2024).

A análise da Tabela 12 revela que o segundo dia registrou o pior índice de produção diária, com 33,26 Hh/m<sup>3</sup>, enquanto o penúltimo dia demonstrou o melhor desempenho, com 7,92 Hh/m<sup>3</sup>. Através da soma das Hh e da quantidade de serviço diária, foi possível calcular o valor da produtividade acumulada (RUP<sub>cum</sub>), que ao final do ciclo obteve o valor de 13,16 Hh/m<sup>3</sup>. Além disso, ao identificar a mediana dos valores do RUP<sub>d</sub> inferiores ao RUP<sub>cum</sub>, de acordo com a última coluna da tabela, foi determinado o valor ideal de produtividade (RUP<sub>pot</sub>) de 9,97 Hh/m<sup>3</sup>, conforme demonstrado abaixo.

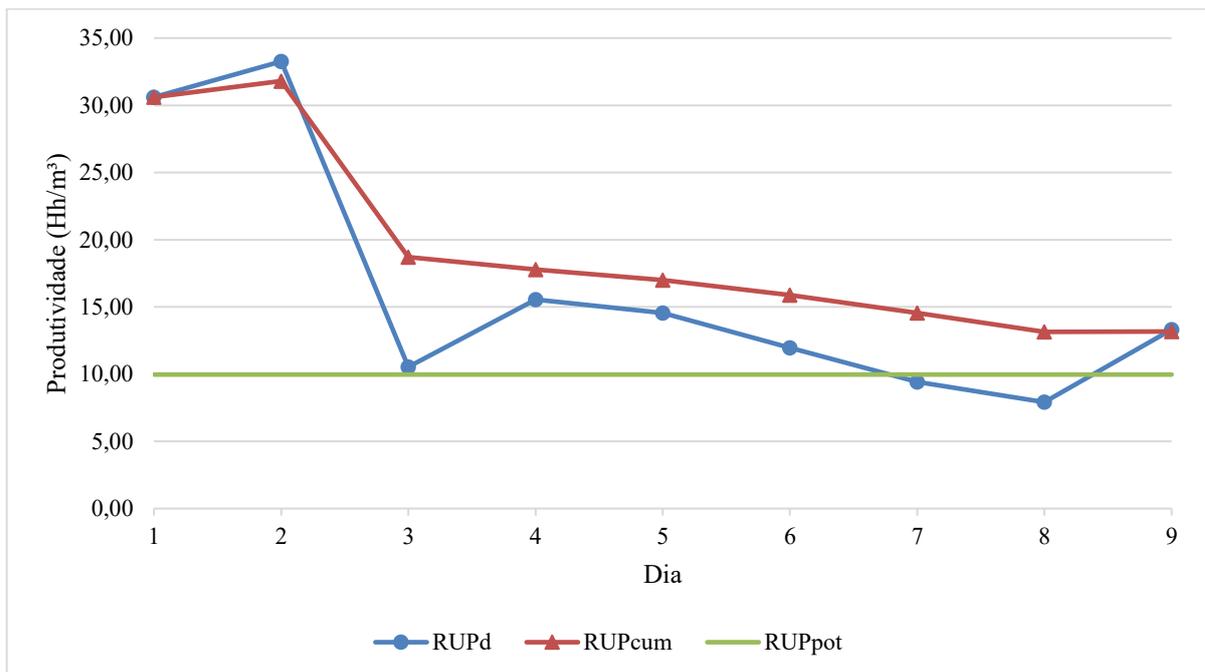
$$RUP_{pot} = \{7,92; 9,41; 10,52; 11,97\} = \frac{9,41 + 10,52}{2} = 9,97 \text{ Hh/m}^3$$

Para calcular a porcentagem de perda da mão de obra, empregou-se a Equação (3), conforme descrito na metodologia. O resultado obtido foi de 32,04%, como pode ser observado a abaixo.

$$\text{Perda MO} = \frac{(13,16 - 9,97)}{9,97} \times 100 = 32,04\%$$

Com o intuito de proporcionar uma análise mais abrangente e visualmente esclarecedora, foi gerado um gráfico das produtividades ao longo do período de atividade, o qual está representado na Figura 29.

Figura 29 – Análise gráfica das produtividades da parede 22.1



Fonte: Os Autores (2024).

Analisando as produtividades, é perceptível que os dois primeiros dias se destacaram com uma produtividade significativamente diferente dos dias seguintes. Isso pode ser justificado pelo fato de que a demolição da primeira faixa da parede exigiu dois cortes a mais que as demais faixas. Esses cortes adicionais referem-se aos cortes horizontais superiores no topo da parede. Vale ressaltar que as faixas demolidas posteriormente já havia seus cortes horizontais superiores

executados pelos cortes horizontais inferiores da faixa acima. Essa adição, acarreta um aumento de tempo na realização da atividade.

Após essa primeira demolição, o índice diário ( $RUP_d$ ) apresentou melhores valores. Além disso, em virtude do declínio da curva do  $RUP_{cum}$  ao longo do tempo, é possível concluir que o processo vai se tornando mais eficiente como o passar dos dias.

Como base para o levantamento das despesas da atividade, a Tabela 13 apresenta os materiais e equipamentos utilizados na demolição da parede 22.1. Durante os 9 dias de execução do serviço, foram empregados 1 *wall saw*, 1 martelete e 1 talha manual. Além disso, foram necessários 1 disco de serra de 80 cm, 1 broca de 16 mm e 132 *parabолts* para a conclusão da atividade.

Tabela 13 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 22.1

Parede 22.1						
Data	EQUIPAMENTO			MATERIAL		
	Wall Saw	Martelete	Talha	Disco de Serra Ø = 80 cm	Broca 16 mm	Parabolt 5/8"
25/05/2023	1	1	1	1	1	18
26/05/2023	1	1	1	-	-	8
29/05/2023	1	1	1	-	-	18
30/05/2023	1	1	1	-	-	14
31/05/2023	1	1	1	-	-	14
01/06/2023	1	1	1	-	-	16
02/06/2023	1	1	1	-	-	16
05/06/2023	1	1	1	-	-	16
06/06/2023	1	1	1	-	-	12
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>132</b>

Fonte: Os Autores (2023).

Antecedendo a demolição, foi necessário erigir um andaime multidirecional para possibilitar o acesso dos trabalhadores. O processo de montagem teve início em 22 de maio de 2023, sendo finalizado em 24 de maio do mesmo ano, exigindo um total de 3 dias para sua conclusão. Já o procedimento de desmontagem foi realizado em um período de 2 dias, iniciando em 07 de junho de 2023 e encerrando-se em 08 de junho de 2023. A elevação e a desconstrução da estrutura de acesso foram conduzidas por uma equipe de seis serventes. Ao todo, a equipe dedicou 45 horas de trabalho para a realização dessas atividades, totalizando em 270 horas de esforço humano.

Com base nos dados fornecidos, as despesas da demolição da parede 22.1 foram levantadas e estão apresentadas na Tabela 14, seguindo a metodologia especificada no Item 3.4.

Tabela 14 – Despesas da demolição da parede 22.1

Tipo de Despesa	Quant.	Unid. de Medida	Valor Unitário	Subtotal	%
Servente – Montagem de andaime	270	Hora	R\$ 8,59	R\$ 1898,10	8,51%
Servente – Demolição	79	Hora	R\$ 8,59	R\$ 555,37	2,49%
Profissional – Demolição	79	Hora	R\$ 11,42	R\$ 737,86	3,31%
Wall Saw	13	Dia	R\$ 583,33	R\$ 7.583,33	27,82%
Martelo perfurador	13	Dia	R\$ 5,00	R\$ 65,00	0,24%
Talha 0,5 T	13	Dia	R\$ 5,67	R\$ 73,67	0,27%
Disco de serra 80 cm	1	Unidade	R\$ 6.176,52	R\$ 6.176,52	22,66%
Broca 16 mm	1	Unidade	R\$ 39,9	R\$ 39,90	0,15%
Parabolt 5/8”	132	Unidade	R\$ 6,99	R\$ 922,68	3,38%
Andaime multidirecional	18	Dia	R\$ 7,03	R\$ 8.500,20	31,18%
<b>Total de Despesas</b>				<b>R\$ 27.261,81</b>	<b>100%</b>

Fonte: Os Autores (2024).

Conforme os cálculos realizados, o custo total da demolição da parede foi de 27.261,81 reais. Deste valor, 39,69% foram destinados à estrutura de acesso, enquanto 60,31% foram destinados à própria demolição da parede. Em termos de distribuição de custos, 14,31% corresponderam à mão de obra, 28,33% à de locação de ferramentas, 26,19% aos materiais e acessórios, e 31,18% à locação da estrutura de acesso.

Com o valor da demolição, será calculado o último parâmetro da parede, o custo unitário de produção. O resultado do CUP mensurado, dividindo o custo pela quantidade de serviço executada, foi de R\$ 2.271,00 por m<sup>3</sup>.

$$\text{CUP} = \frac{27.261,81}{12} = 2.271,00 \text{ R\$/m}^3$$

#### 4.3.2 Análise dos dados de demolição com utilização do martelo rompedor

As paredes 16.1 e 19.1 foram demolidas utilizando martelos rompedores elétricos com potência nominal de 1.500 W, seguindo o processo descrito no Item 3.1.1. A equipe de demolição consistia em 2 serventes, com cada um operando um martelo rompedor, enquanto na etapa de corte da armadura, foi utilizada apenas uma esmerilhadeira.

Para realizar a comparação entre os indicadores dos diferentes métodos de demolição do estudo, foram distribuídas proporcionalmente as horas do corte do aço, em relação ao período trabalhado de cada dia, como explicitado anteriormente no Item 3.3.

##### 4.3.2.1 Parede 19.1

A demolição da parede 19.1 teve início em 19 de maio de 2023 e foi concluída no dia 12 de junho de 2023, sendo executada em 19 dias de trabalho. Durante esse período, os primeiros

16 dias foram dedicados à demolição do concreto, enquanto os 3 dias seguintes foram destinados ao corte do aço. A parede em questão possuía uma largura de 3,5 metros, 20,1 metros de altura e espessura variando de 13 centímetros no topo a 20 centímetros na base.

A Tabela 15 apresenta as informações coletadas em campo durante a execução do serviço.

Tabela 15 – Coleta de dados da demolição da parede 19.1

Parede 19.1					
Dia	Data	Horas Trabalhadas no Dia	Quantidade de Funcionários	Volume Demolido (m <sup>3</sup> )	Equipamento Utilizado
1	19/05/2023	5	2	0,41	Martelo Rompedor
2	22/05/2023	9	2	0,77	Martelo Rompedor
3	23/05/2023	9	2	0,91	Martelo Rompedor
4	24/05/2023	9	2	1,18	Martelo Rompedor
5	25/05/2023	9	2	1,05	Martelo Rompedor
6	29/05/2023	4	2	0,56	Martelo Rompedor
7	30/05/2023	9	2	1,12	Martelo Rompedor
8	31/05/2023	9	2	0,63	Martelo Rompedor
9	01/06/2023	9	2	0,85	Martelo Rompedor
10	02/06/2023	8	2	0,63	Martelo Rompedor
11	05/06/2023	9	2	0,63	Martelo Rompedor
12	06/06/2023	9	2	0,49	Martelo Rompedor
13	07/06/2023	9	2	0,49	Martelo Rompedor
14	08/06/2023	9	2	0,63	Martelo Rompedor
15	09/06/2023	8	2	0,49	Martelo Rompedor
16	12/06/2023	9	2	0,35	Martelo Rompedor
17	13/06/2024	9	2	-	Esmerilhadeira
18	14/06/2024	9	2	-	Esmerilhadeira
19	15/06/2024	6	2	-	Esmerilhadeira
<b>Total</b>		<b>157</b>	<b>2</b>	<b>11,19</b>	

Fonte: Os Autores (2023).

No primeiro dia de trabalho, a equipe iniciou a atividade às 11 horas da manhã. Devido questões logísticas da obra, a equipe trabalhou até as 12 horas do dia 22 de maio utilizando apenas um martelo rompedor, no qual os funcionários ficaram revezando o equipamento. Entre a sexta-feira, 26/05/2023 e a segunda-feira, 29/05/2023, pela manhã, os funcionários foram designados para outra atividade na obra, retornando à frente de serviço apenas no período da tarde da segunda-feira. Nessas datas, devido à priorização de outra tarefa na obra, o horário de produção não foi contabilizado, apenas quando voltaram para a demolição.

Nos últimos dois dias da demolição, a obra enfrentou problemas com queda de energia, iniciando no final do dia 14/06/2023. No entanto, como o problema era interno da obra e os

funcionários estavam disponíveis para executar o serviço, esse intervalo de tempo foi considerado.

Antes calcular os indicadores, repartem-se as horas dedicadas à atividade do corte do aço para dias trabalhados na demolição do concreto, como mencionado anteriormente segundo parágrafo do Item 3.4. Observando a Tabela 15, identifica-se que foram necessárias 24 horas para efetuar o corte do aço, enquanto a primeira etapa da atividade demandou 133 horas de trabalho. Assim, serão acrescentados 0,18 horas para cada hora de demolição executado por dia, de acordo com a operação abaixo.

$$\text{Horas distruídas} = \frac{24}{133} = 0,18 \text{ horas/hora}$$

A Tabela 16 expõe os resultados da distribuição dessas horas para cada dia de demolição, de acordo com a Equação (4), apresentando as horas trabalhadas antes e depois da aplicação dessa metodologia.

Tabela 16 – Distribuição das horas do corte do aço para os dias de demolição (Parede 19.1)

<b>Dia</b>	<b>Horas Trabalhadas (Demolição)</b>	<b>Fator Multiplicador</b>	<b>Horas Trabalhadas (Demolição + Corte do Aço)</b>
1	5	1 + 0,18	5,90
2	9	1 + 0,18	10,62
3	9	1 + 0,18	10,62
4	9	1 + 0,18	10,62
5	9	1 + 0,18	10,62
6	4	1 + 0,18	4,72
7	9	1 + 0,18	10,62
8	9	1 + 0,18	10,62
9	9	1 + 0,18	10,62
10	8	1 + 0,18	9,44
11	9	1 + 0,18	10,62
12	9	1 + 0,18	10,62
13	9	1 + 0,18	10,62
14	9	1 + 0,18	10,62
15	8	1 + 0,18	9,44
16	9	1 + 0,18	10,62

Fonte: Os Autores (2024).

Com a obtenção dos dados e a realização das operações necessárias, foram calculadas as produtividades da demolição da parede 19.1, as quais estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Produtividade da parede 19.1

Dia	Hh Diário	Qs Diário (m³)	RUP <sub>d</sub> (Hh/m³)	Hh Cumulativo	Qs Cumulativo (m³)	RUP <sub>cum</sub> (Hh/m³)	RUP <sub>pot</sub>
1	11,80	0,41	28,83	11,80	0,41	28,83	-
2	21,25	0,77	27,47	33,05	1,18	27,94	27,47
3	21,25	0,91	23,35	54,30	2,09	25,94	23,35
4	21,25	1,18	18,07	75,55	3,27	23,11	18,07
5	21,25	1,05	20,24	96,80	4,32	22,41	20,24
6	9,44	0,56	16,86	106,24	4,88	21,78	16,86
7	21,25	1,12	18,97	127,49	6,00	21,25	18,97
8	21,25	0,63	33,73	148,74	6,63	22,44	-
9	21,25	0,85	24,98	169,98	7,48	22,73	24,98
10	18,89	0,63	29,98	188,87	8,11	23,29	-
11	21,25	0,63	33,73	210,12	8,74	24,04	-
12	21,25	0,49	43,36	231,37	9,23	25,07	-
13	21,25	0,49	43,36	252,62	9,72	25,99	-
14	21,25	0,63	33,73	273,86	10,35	26,46	-
15	18,89	0,49	38,55	292,75	10,84	27,01	-
16	21,25	0,35	60,71	314,00	11,19	28,06	-
<b>Total</b>	<b>314,00</b>	<b>11,19</b>				<b>28,06</b>	<b>20,24</b>

Fonte: Os Autores (2024).

De acordo com a Tabela acima, o RUP<sub>d</sub> nos revela os dias mais e menos produtivos, sendo o sexto dia com melhor índice, com 16,86 Hh/m³, e o último dia apontando a menor eficiência, com 60,71 Hh/m³. Acumulando as homens-hora e a quantidade de volume demolido, obtém-se o valor do RUP<sub>cum</sub> ao longo da execução da atividade, que ao final do serviço apresentou o valor de 28,06 Hh/m³, representando também o valor do RUP<sub>cic</sub>. A última coluna da tabela mostra os valores dos índices diários menores que o valor final do RUP<sub>cum</sub>, os quais foram utilizados para determinar o valor do RUP<sub>pot</sub>, conforme indicado abaixo.

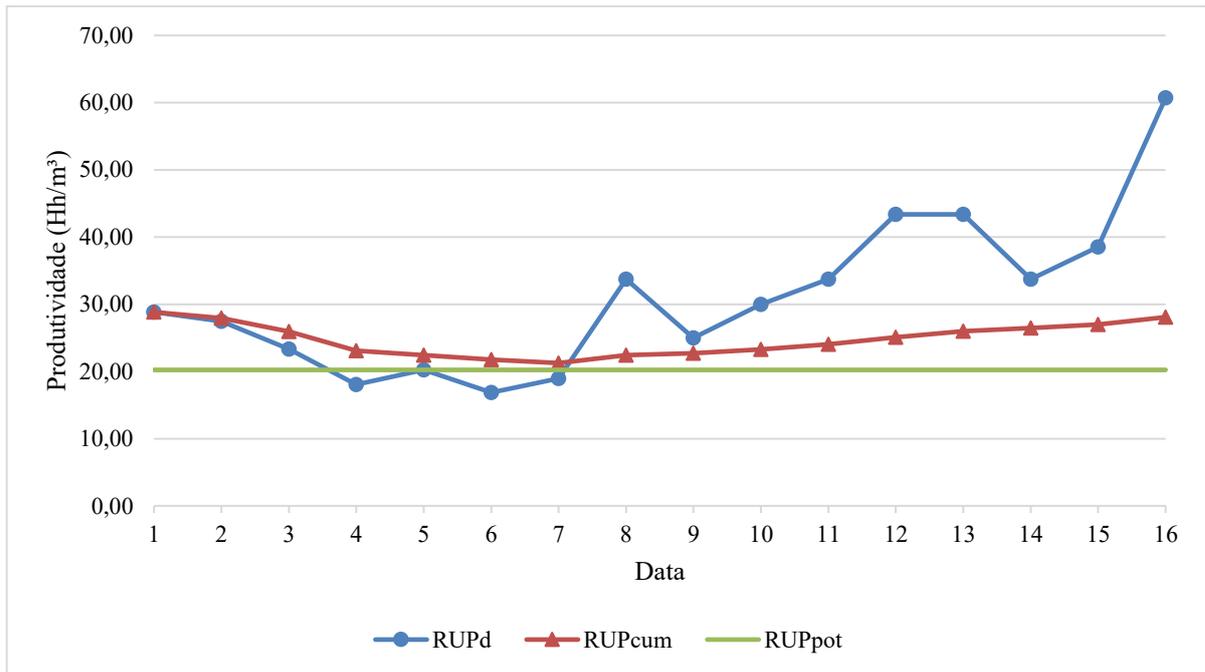
$$RUP_{pot} = \{16,86; 18,07; 18,97; 20,24; 23,35; 24,98; 27,47\} = 20,24 \text{ Hh/m}^3$$

Foi empregada a Equação (3) para o calcular a porcentagem da perda da mão de obra durante o processo, resultando em 38,67%, de acordo com a resolução da expressão matemática a seguir.

$$\text{Perda MO} = \frac{(28,06 - 20,24)}{20,24} \times 100 = 38,67\%$$

Para uma análise mais detalhada, foi elaborado um gráfico (Figura 30) com os valores da produtividade de cada dia.

Figura 30 – Análise gráfica das produtividades da parede 19.1



Fonte: Os Autores (2024).

Analisando o gráfico, é perceptível que a produtividade diária apresenta grandes variações ao longo do período da atividade, atingindo os melhores valores aproximadamente nos dois terços iniciais da altura da parede demolida. Nos primeiros sete dias de execução do serviço, o dia 1 e o dia 2 foram os que registraram os piores índices, devido à falta de equipamento mencionada anteriormente. Além disso, a curva do  $RUP_{cum}$  inicialmente decresce até o sétimo dia, em seguida, inverte seu sentido. Essa mudança de direção curva e a diminuição da eficiência da mão de obra ocorrem devido ao aumento da espessura da parede e à quantidade de ferros presente nela.

Observa-se que até oitavo dia da demolição, 50% do  $RUP_d$  é igual ou menor que o parâmetro de produção ideal ( $RUP_d$ ), enquanto nos últimos oito dias todos os valores foram superiores. Portanto, o gráfico sugere que a tendência da produtividade é piorar à medida que a parede se torna mais espessa.

A Tabela 18 apresenta os materiais e equipamentos utilizados para demolir a parede 19.1, os quais serão adicionados na composição dos custos da parede. Conforme mencionado anteriormente, no primeiro dia, apenas 1 marteleto estava disponível para a equipe. Portanto, foram utilizados dois marteletes ao longo de 15 dias e apenas um marteleto em um dia. Além disso, uma esmerilhadeira foi utilizada durante três dias. O consumo de material foi de 31 ponteiros e de 16 discos de corte.

Tabela 18 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 19.1

<b>Parede 19.1</b>				
	<b>EQUIPAMENTO</b>		<b>MATERIAL</b>	
<b>Data</b>	<b>Martelo Rompedor</b>	<b>Esmerilhadeira</b>	<b>Ponteiro</b>	<b>Disco de Corte</b>
19/05/2023	1	-	1	-
22/05/2023	2	-	2	-
23/05/2023	2	-	2	-
24/05/2023	2	-	2	-
25/05/2023	2	-	2	-
29/05/2023	2	-	2	-
30/05/2023	2	-	2	-
31/05/2023	2	-	2	-
01/06/2023	2	-	2	-
02/06/2023	2	-	2	-
05/06/2023	2	-	2	-
06/06/2023	2	-	2	-
07/06/2023	2	-	2	-
08/06/2023	2	-	2	-
09/06/2023	2	-	2	-
12/06/2023	2	-	2	-
13/06/2023	-	1	-	6
14/06/2023	-	1	-	6
15/06/2023	-	1	-	4
<b>19</b>	<b>16</b>	<b>3</b>	<b>31</b>	<b>16</b>

Fonte: Os Autores (2023).

Completando os dados para a construção dos custos referentes a demolição da parede consta a estrutura de acesso. Na qual, foi montada em 2 dias, com início no dia 17 de maio de 2023 e concluída no dia 18 do mesmo mês, contabilizando 36 homens-hora de serventes e 9 Hh do profissional. No primeiro dia da montagem, estavam envolvidos no processo dois serventes e 1 operador de máquina, enquanto no segundo havia apenas os 2 serventes. Já a desmontagem foi executada no dia 16 de junho de 2023, na sexta-feira, por 2 serventes, somando 16 homens-hora.

A Tabela 19 apresenta a composição dos custos na demolição da parede 19.1.

Tabela 19 – Despesas da demolição da parede 19.1

Tipo de Despesa	Quant.	Unid. de Medida	Valor Unitário	Subtotal	%
Servente – Montagem balancim	52	Hora	R\$ 8,59	R\$ 446,80	4,60%
Profissional – Montagem Balancim	9	Hora	R\$ 11,42	R\$ 102,74	1,06%
Servente – Demolição	314	Hora	R\$ 8,59	R\$ 2.697,96	27,78%
Martelo rompedor 11 kg (1 unid.)	28	Dia	R\$ 17,67	R\$ 494,67	5,09%
Martelo rompedor 11 kg (1 unid.)	25	Dia	R\$ 17,67	R\$ 441,61	4,55%
Esmerilhadeira angular 7”	3	Dia	R\$ 5,00	R\$ 15,00	0,15%
Exaustor 3,0 CV	28	Dia	R\$ 43,33	R\$ 1.213,33	12,49%
Perfuratriz elétrica	1	Dia	R\$ 83,33	R\$ 83,33	0,86%
Coroa diamantada 112mm	0,25	Unidade	R\$ 820,03	R\$ 205,01	2,11%
Ponteiro	31	Unidade	R\$ 60,00	R\$ 1.860,00	19,15%
Disco de corte 7”	16	Unidade	R\$ 8,60	R\$ 137,60	1,42%
Balancim elétrico 4m	31	Unidade	R\$ 65,00	R\$ 2.015,00	20,75%
<b>Total de Despesas</b>				<b>R\$ 9.713,10</b>	<b>100%</b>

Fonte: Os Autores (2024).

De acordo com o elencado na Tabela 19, o valor gasto na demolição foi de R\$ 9.713,10. É possível perceber que a estrutura de acesso correspondeu à 29,37% dos custos, e a demolição em si à 70,53%. Em outra distribuição de despesas, a mão de obra consistiu na maior parcela do total despendido (33,43%), seguido pela locação de ferramentas (23,14%), materiais e acessórios (22,68%), e locação da estrutura de acesso (20,75%).

Por conseguinte, o CUP foi calculado a partir da divisão entre o total de despesas pelo volume demolido. Desse modo, foi possível chegar ao resultado de 868,06 R\$/m<sup>3</sup>, conforme evidente abaixo.

$$\text{CUP} = \frac{9713,10}{11,19} = 868,06 \text{ R\$/m}^3$$

#### 4.3.2.2 Parede 16.1

A demolição da parede 16.1 ocorreu no período entre 6 de setembro de 2023 e 3 de outubro de 2023, com os primeiros 14 dias e parte do décimo quinto dia dedicados à demolição do concreto, enquanto o tempo restante foi utilizado para o corte do aço. No total, o serviço ocorreu ao longo de 17 dias.

A parede possuía uma largura de 3,85 metros, 20,01 metros de altura e espessura variando de 15 centímetros no topo a 20 centímetros na base. No entanto, apenas 19,01 metros da altura da parede foram demolidos devido a considerações da desconstrução. O volume total da demolição foi de 12,65 m<sup>3</sup>. Os resultados detalhados da execução do serviço estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Coleta de dados da demolição da parede 16.1

Parede 16.1					
Dia	Data	Horas Trabalhadas no Dia	Quantidade de Funcionários	Volume Demolido (m <sup>3</sup> )	Equipamento Utilizado
1	06/09/2023	9	2	1,10	Martelo Rompedor
2	11/09/2023	9	2	1,73	Martelo Rompedor
3	12/09/2023	9	2	1,44	Martelo Rompedor
4	13/09/2023	9	2	1,31	Martelo Rompedor
5	14/09/2023	9	2	1,18	Martelo Rompedor
6	15/09/2023	8	2	0,73	Martelo Rompedor
7	18/09/2023	9	2	0,94	Martelo Rompedor
8	20/09/2023	9	2	0,66	Martelo Rompedor
9	21/09/2023	9	2	0,88	Martelo Rompedor
10	22/09/2023	8	2	0,35	Martelo Rompedor
11	25/09/2023	9	2	0,35	Martelo Rompedor
12	26/09/2023	9	2	0,77	Martelo Rompedor
13	27/09/2023	9	2	0,46	Martelo Rompedor
14	28/09/2023	9	2	0,62	Martelo Rompedor
15	29/09/2023	3	2	0,15	Martelo Rompedor
15	29/09/2023	5	2	-	Esmerilhadeira
16	02/10/2023	9	2	-	Esmerilhadeira
17	03/10/2023	9	2	-	Esmerilhadeira
<b>Total</b>		<b>150</b>	<b>2</b>	<b>12,65</b>	

Fonte: Os Autores (2023).

Durante o processo, o dia 7 de setembro (quinta-feira) foi feriado nacional, diante disso a empresa decidiu prolongar este feriado, com volta das atividades na segunda-feira. No dia 19 de setembro, a equipe foi relocada para outra frente de serviço, visto que essa atividade era prioridade para a obra naquele momento. No último dia de demolição, 29 de setembro de 2023, a equipe trabalhou até as 10 horas da manhã na demolição do concreto, e o restante do dia (5 horas trabalhadas) foi dedicado ao corte da armadura.

Para o cálculo da métrica, foi realizada a distribuição das horas destinadas ao corte da armadura proporcionalmente às horas de demolição, conforme descrito no Item 3.4. Pela Tabela 20, o somatório das horas trabalhadas na demolição do concreto foi de 127 horas, enquanto o corte do aço foi de 23 horas. Efetuando o cálculo, obtém-se o valor 0,18 horas a serem adicionadas a cada hora de trabalho na demolição, conforme a resolução abaixo.

$$\text{Horas distribu\cadas} = \frac{23}{127} = 0,18 \text{ horas/hora}$$

Aplicando a Equação (4), simula-se à quantidade de horas trabalhadas de cada dia realizando os serviços de demolição e corte do aço. A Tabela 21, apresenta os resultados dessas operações.

Tabela 21 – Distribuição das horas do corte do aço para os dias de demolição (Parede 16.1)

<b>Dia</b>	<b>Horas Trabalhadas (Demolição)</b>	<b>Fator Multiplicador</b>	<b>Horas Trabalhadas (Demolição + Corte do Aço)</b>
1	9	1 + 0,18	10,63
2	9	1 + 0,18	10,63
3	9	1 + 0,18	10,63
4	9	1 + 0,18	10,63
5	9	1 + 0,18	10,63
6	8	1 + 0,18	9,45
7	9	1 + 0,18	10,63
8	9	1 + 0,18	10,63
9	9	1 + 0,18	10,63
10	8	1 + 0,18	9,45
11	9	1 + 0,18	10,63
12	9	1 + 0,18	10,63
13	9	1 + 0,18	10,63
14	9	1 + 0,18	10,63
15	3	1 + 0,18	3,54

Fonte: Os Autores (2024).

Com posse dos dados e dos resultados obtidos, foram seguidos os procedimentos descritos no Item 3.3 para o cálculo das produtividades, cujos resultados estão indicados na Tabela 22.

Tabela 22 – Produtividade da parede 16.1

<b>Dia</b>	<b>Hh Diário</b>	<b>Qs Diário (m³)</b>	<b>RUP<sub>d</sub> (Hh/m³)</b>	<b>Hh Cumulativo</b>	<b>Qs Cumulativo (m³)</b>	<b>RUP<sub>cum</sub> (Hh/m³)</b>	<b>RUP<sub>pot</sub></b>
1	21,26	1,10	19,38	21,26	1,10	19,38	19,38
2	21,26	1,73	12,27	42,52	2,83	15,03	12,27
3	21,26	1,44	14,73	63,78	4,27	14,92	14,73
4	21,26	1,31	16,24	85,04	5,58	15,23	16,24
5	21,26	1,18	18,05	106,30	6,76	15,72	18,05
6	18,90	0,73	25,97	125,20	7,49	16,72	-
7	21,26	0,94	22,72	146,46	8,42	17,39	22,72
8	21,26	0,66	32,29	167,72	9,08	18,47	-
9	21,26	0,88	24,22	188,98	9,96	18,97	-
10	18,90	0,35	54,54	207,87	10,31	20,17	-
11	21,26	0,35	61,36	229,13	10,65	21,51	-
12	21,26	0,77	27,61	250,39	11,42	21,92	-
13	21,26	0,46	46,02	271,65	11,88	22,86	-
14	21,26	0,62	34,51	292,91	12,50	23,43	-
15	7,09	0,15	46,02	300,00	12,65	23,71	-
<b>Total</b>	<b>300</b>	<b>12,65</b>				<b>23,71</b>	<b>17,14</b>

Fonte: Os Autores (2024).

Verificando a tabela da– Produtividade da parede 16.1, observa-se que na coluna do  $RUP_d$ , o segundo dia teve o melhor rendimento, com  $12,27 \text{ Hh/m}^3$ , enquanto o décimo primeiro dia foi o menos eficaz, com  $61,36 \text{ Hh/m}^3$ . Após acumular as homens-hora e a quantidade de serviço, foi constatado o resultado dos  $RUP_{cum}$  ao longo do período da atividade, com um valor final de  $23,71 \text{ Hh/m}^3$ , o qual é igual ao resultado do  $RUP_{cic}$ .

A produtividade ideal foi determinada a partir da mediana dos valores do  $RUP_d$  inferiores ao valor do  $RUP_{cum}$  final, expressos na última coluna da tabela. De acordo com a expressão matemática abaixo, o valor do  $RUP_{pot}$  foi de  $17,14 \text{ Hh/m}^3$ .

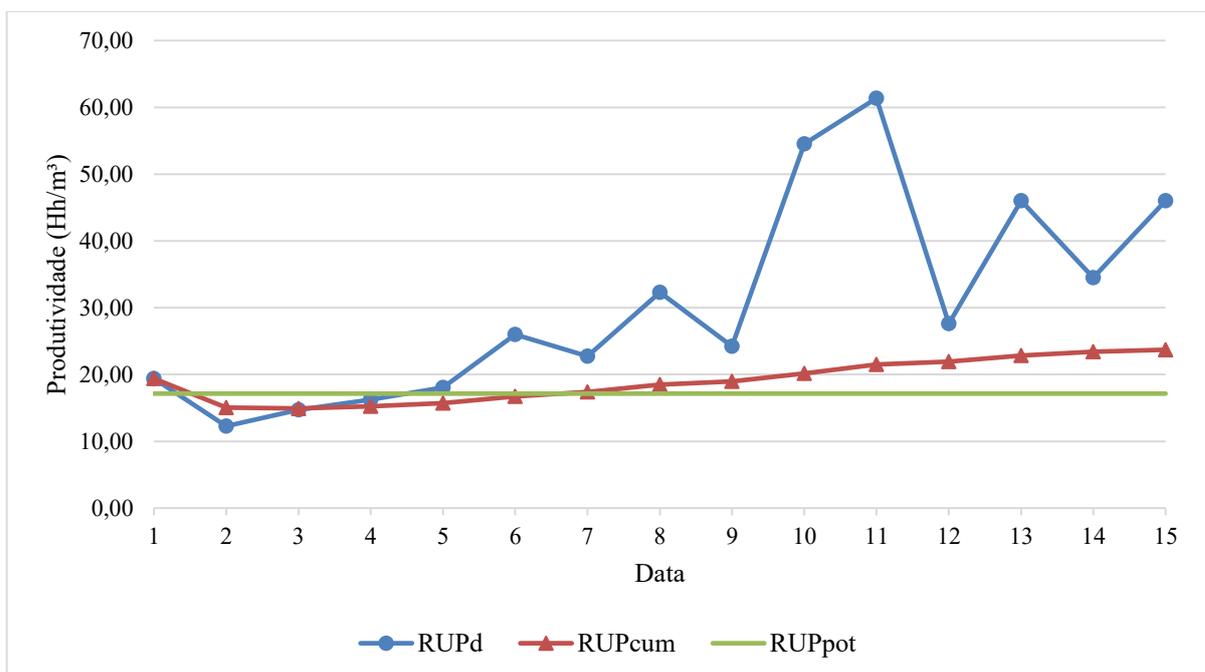
$$RUP_{pot} = \{12,27; 14,73; 16,24; 18,05; 19,38; 22,72\} = \frac{16,24 + 18,05}{2} = 17,14 \text{ Hh/m}^3$$

O cálculo da porcentagem de perda da mão de obra foi realizado a partir da Equação (3), no qual foi obtido o valor de  $38,28\%$ .

$$\text{Perda MO} = \frac{(23,71 - 17,14)}{17,14} \times 100 = 38,28\%$$

A Figura 31 representa graficamente os valores das produtividades de acordo com os dias trabalhados na execução do serviço.

Figura 31 – Análise gráfica das produtividades da parede 16.1



Fonte: Os Autores (2024).

Examinando o gráfico dos indicadores da parede 16.1, é cabível concluir que a produtividade diária ( $RUP_d$ ) diminui ao longo do tempo. Isso confirma mais uma vez que a execução da demolição com o martelo rompedor sofre uma grande influência com o aumento da espessura do concreto armado. A curva do  $RUP_{cum}$  também sustenta essa observação, pois seu sentido é crescente em 14 dos 15 dias da realização da atividade, indicando que o processo se torna mais improdutivo com o passar dos dias. Além disso, observa-se que  $RUP_d$  possui valores inferiores ao indicador ideal apenas quando a parede apresenta sua menor espessura.

Para realizar a composição dos preços da demolição da parede 16.1, a Tabela 23 apresenta o consumo dos materiais e equipamentos utilizados durante a execução do serviço. Observa-se que foram utilizando 2 martelos rompedores ao longo de 15 dias, além de 1 esmerilhadeira durante 3 dias. Durante o processo de demolição, a substituição dos ponteiros foi realizada diariamente, totalizando o consumo de 30 ponteiros. Para o corte do aço, foram utilizados no total 15 discos de corte.

Tabela 23 – Levantamento dos materiais e equipamentos consumidos na demolição da parede 16.1

Parede 16.1				
Data	EQUIPAMENTO		MATERIAL	
	Martelo Rompedor	Esmerilhadeira	Ponteiro	Disco de Corte 7"
06/09/2023	2	-	2	-
11/09/2023	2	-	2	-
12/09/2023	2	-	2	-
13/09/2023	2	-	2	-
14/09/2023	2	-	2	-
15/09/2023	2	-	2	-
18/09/2023	2	-	2	-
20/09/2023	2	-	2	-
21/09/2023	2	-	2	-
22/09/2023	2	-	2	-
25/09/2023	2	-	2	-
26/09/2023	2	-	2	-
27/09/2023	2	-	2	-
28/09/2023	2	-	2	-
29/09/2023	2	1	2	5
02/10/2023	-	1	-	5
03/10/2023	-	1	-	5
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>15</b>

Fonte: Os Autores (2023).

Em relação a estrutura de acesso, a montagem do equipamento elétrico foi iniciada no dia 4 setembro de 2023, com um profissional e dois serventes, e concluída no dia seguinte pelos mesmos 2 serventes. A sua desmontagem ocorreu no dia posterior à conclusão da desconstrução da parede, sendo conduzida também por 2 ajudantes. No total, foram demandadas 54 horas mão de obra realizada por serventes e 9 horas por profissionais.

Diante disso, todas as informações necessárias foram consideradas para estruturar a composição dos custos relacionados à demolição da parede 16.1, a qual pode ser observada na Tabela 23.

Tabela 24 – Despesas da demolição da parede 16.1

Tipo de Despesa	Quant.	Unid. de Medida	Valor Unitário	Subtotal	%
Servente – Montagem balancim	54	Hora	R\$ 8,59	R\$ 463,98	4,83%
Profissional – Montagem Balancim	9	Hora	R\$ 11,42	R\$ 102,74	1,07%
Servente – Demolição	300	Hora	R\$ 8,59	R\$ 2.577,67	26,84%
Martelo rompedor 11 kg (1 unid.)	28	Dia	R\$ 17,67	R\$ 494,67	5,15%
Martelo rompedor 11 kg (1 unid.)	28	Dia	R\$ 17,67	R\$ 494,67	5,15%
Esmerilhadeira angular 7"	5	Dia	R\$ 5,00	R\$ 25,00	0,26%
Exaustor 3,0 CV	28	Dia	R\$ 43,33	R\$ 1.213,33	12,63%
Perfuratriz elétrica	1	Dia	R\$ 83,33	R\$ 83,33	0,87%
Coroa diamantada 112mm	0,25	Unidade	R\$ 820,03	R\$ 205,01	2,13%
Ponteiro	30	Unidade	R\$ 60,00	R\$ 1.800,00	18,74%
Disco de corte 7"	15	Unidade	R\$ 8,60	R\$ 129,00	1,34%
Balancim elétrico 4m	31	Unidade	R\$ 65,00	R\$ 2.015,00	20,98%
<b>Total de Despesas</b>				<b>R\$ 9.604,40</b>	<b>100%</b>

Fonte: Os Autores (2024).

De acordo com a Tabela acima, o custo da demolição da parede foi de 9.604,40 reais, sendo 29,88% relacionado à estrutura de acesso e 70,12% à demolição. Ainda em outra perspectiva, os custos se subdividem em mão de obra (32,74%), locação de equipamentos (24,06%), aquisição de materiais e acessórios (22,22%), e locação da estrutura de acesso (20,98%).

Após a mensuração do custo da parede, foi calculada a última métrica relacionada a esta, o CUP. Assim, utilizando a Equação (8), o resultado da divisão do Cp pelo volume demolido foi de R\$ 758,94 /m<sup>3</sup>.

$$CUP = \frac{9604,40}{12,65} = 758,94 \text{ R\$/m}^3$$

#### 4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PROCESSOS

Após a conclusão do levantamento, tratamento e análise dos resultados obtidos para cada parede individualmente, será conduzido o estudo comparativo entre as paredes e posteriormente entre o martelo rompedor e a *wall saw*.

Na Tabela 25, são apresentados os valores de produtividade obtidos no estudo de caso de cada unidade demolida, no qual destacam-se os seguintes pontos:

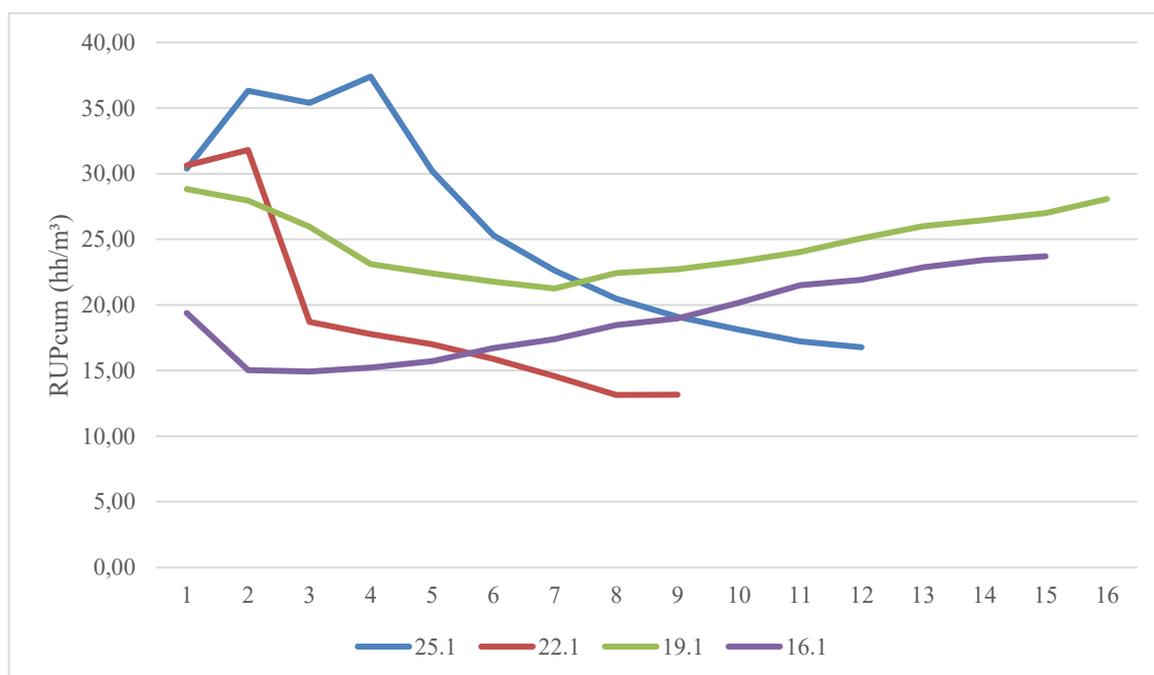
- Apesar de ter o menor volume de demolição (11,19 m<sup>3</sup>), a parede 19.1 teve o maior período de execução do serviço (19 dias);
- O serviço de demolição com a *wall saw* somaram 21 dias, enquanto as paredes demolidas com martelo totalizam 36 dias de execução, representando um aumento de aproximadamente 58% para a conclusão da demolição. Ainda que, o volume demolido seja 9,72% maior nas paredes 25.1 e 22.1;
- Em relação a perda da mão de obra, constata-se que os valores para ambos os equipamentos são elevados, próximos a 40%. Isso indica que há uma perda de energia significativa, sendo assim, é necessária uma investigação dos fatores que causaram a queda de rendimento, para que possam ser identificados e mitigados.

Tabela 25 – Comparativo do serviço de demolição das paredes

<b>Parede</b>	<b>25.1</b>	<b>22.1</b>	<b>19.1</b>	<b>16.1</b>
Método de Demolição	<i>Wall Saw</i>	<i>Wall Saw</i>	Martelo Rompedor	Martelo Rompedor
Volume Demolido (m <sup>3</sup> )	12,52	12,00	11,19	12,65
Dias de Desconstrução	12	9	19	17
RUP <sub>cum</sub> (Hh/m <sup>3</sup> )	16,77	13,16	28,06	23,71
RUP <sub>pot</sub> (Hh/m <sup>3</sup> )	12,50	9,97	20,24	17,14
Perda MO	34,19%	32,04%	38,67%	38,28%

Fonte: Os Autores (2024).

Na Figura 32, estão representadas graficamente os comportamentos dos RUP<sub>cum</sub> das quatro paredes analisadas.

Figura 32 – Análise gráfica dos RUP<sub>cum</sub> da demolição das quatro paredes

Fonte: Os Autores (2024).

Com base na Figura 32, é possível verificar que as curvas do RUP<sub>cum</sub> da *wall saw* apresentam sentido decrescente, indicando que o rendimento do equipamento melhora. Isso é atribuído a dois fatores, o primeiro está relacionado a curva de aprendizagem dos funcionários, que se familiarizam com o equipamento ao longo do tempo. Enquanto o segundo, está interligado a redução da energia de impacto gerada pela queda dos blocos, ou seja, conforme ocorre a redução da cota de trabalho, é possível executar maiores cortes nas peças, diminuindo o tempo gasto na mobilização do equipamento. Corroborando com a análise anterior, nota-se que o RUP<sub>cum</sub>, na parede 25.1 é superior ao da parede 22.1, indicando que os 4 dias de treinamento (período de adaptação ao novo equipamento), impactaram na produtividade da primeira parede demolida, porém impulsionou a eficiência na parede seguinte.

Em relação as curvas geradas a partir da demolição com o martelo rompedor, constata-se que o serviço se torna menos produtivo conforme seu avanço, apresentando um comportamento inverso as curvas das paredes 25.1 e 22.1. Isso se deve ao fato, do aumento da espessura da parede e da taxa de armadura do concreto armado em níveis inferiores.

A Tabela 28, apresenta o comparativo da desconstrução, de modo a levar em consideração os serviços relacionados à estrutura de acesso. Nela, observa-se que foi necessário um esforço humano maior na execução, de todas as etapas da desconstrução das paredes, com o uso do equipamento hidráulico, apesar da demolição em si precisar de menos homens-hora. A montagem e desmontagem do andaime multidirecional chega a representar 63,08%, na

parede 22.1, do total de esforço humano, enquanto o balancim chega a apenas no máximo 17,45%.

Tabela 26 – Comparativo do serviço de demolição das paredes e estruturas de acesso

<b>Parede</b>	<b>25.1</b>	<b>22.1</b>	<b>19.1</b>	<b>16.1</b>
Método de Demolição	<i>Wall Saw</i>	<i>Wall Saw</i>	Martelo Rompedor	Martelo Rompedor
Total de dias do ciclo do serviço	17	14	22	20
Homens-hora demolição	210	158	314	300
Homens-hora estrutura de acesso	270	270	61	63
<b>Total de homens-hora</b>	<b>480</b>	<b>428</b>	<b>375</b>	<b>361</b>

Fonte: Os Autores (2024).

A Tabela 27 traz a análise dos custos envolvidos na demolição de cada parede, nela as despesas foram dívidas pelas etapas do serviço, da demolição e da estrutura de acesso.

Tabela 27 – Comparativo do custo total para a demolição das paredes

<b>Parede</b>	<b>25.1</b>	<b>22.1</b>	<b>19.1</b>	<b>16.1</b>
Método de Demolição	<i>Wall Saw</i>	<i>Wall Saw</i>	Martelo Rompedor	Martelo Rompedor
Custo da demolição	R\$ 20.099,68	R\$ 16.441,71	R\$ 6.860,22	R\$ 6.734,33
Custo da estrutura de acesso	R\$ 13.181,27	R\$ 10.820,10	R\$ 2.852,88	R\$ 2.870,06
Custo Total	R\$ 33.280,94	R\$ 27.261,81	R\$ 9.713,10	R\$ 9.604,40
CUP (R\$/m <sup>3</sup> )	R\$ 2.658,22	R\$ 2.271,00	R\$ 868,06	R\$ 758,94

Fonte: Os Autores (2024).

Analisando a Tabela 27, a demolição da parede 25.1 foi a que apresentou um maior valor de despesas, enquanto a parede 16.1, com menor custo, teve um desembolso 71,14% menor. Em relação ao custo total das desconstruções utilizando a serra cortadora, foi obtido um ganho de R\$ 387,22 por metro cúbico demolido, essa vantagem está relacionada ao aumento da experiência dos funcionários na operação do equipamento, como apresentado na análise da produtividade. De tal forma que a redução das despesas está relacionada diretamente ao tempo de execução do serviço.

Ainda de acordo com a Tabela 27, nota-se que os valores da demolição com o uso do martelo rompedor não apresentam grandes variações. No entanto, ao analisar o custo unitário de produção, constata-se que houve uma diminuição 12,57% entre as paredes. Indicando que uma melhora na eficiência do processo, da mesma forma que ocorreu com a *wall saw*.

Para a comparação dos diferentes métodos de desconstrução atribuídos no estudo, foram calculados os valores do RUP e do CUP, utilizando as Equações (7) e (8), empregados a cada equipamento. Estando disponibilizadas nas expressões matemáticas a seguir.

$$\overline{RUP}_{\text{Wall Saw}} = \frac{12,52 \times 16,77 + 12 \times 13,16}{12,52 + 12} = 15 \text{ Hh/m}^3$$

$$\overline{RUP}_{\text{Martelo Rompedor}} = \frac{11,19 \times 28,06 + 12,65 \times 23,71}{11,19 + 12,65} = 25,71 \text{ Hh/m}^3$$

$$\overline{CUP}_{\text{Wall Saw}} = \frac{12,52 \times 2658,22 + 12 \times 2271}{12,52 \times 12} = 2.468,72 \text{ R\$/m}^3$$

$$\overline{CUP}_{\text{Martelo Rompedor}} = \frac{11,19 \times 868,06 + 12,65 \times 757,59}{11,19 + 12,65} = 809,44 \text{ R\$/m}^3$$

Por fim, a Tabela 28 sintetiza os parâmetros das metodologias adotadas para a execução do serviço.

Tabela 28 – Comparativo dos indicadores da demolição de cada equipamento

<b>Equipamento de Demolição</b>	<b>Wall Saw</b>	<b>Martelo Rompedor</b>
RUP médio (Hh/m <sup>3</sup> )	15,00	25,71
CUP médio (R\$/m <sup>3</sup> )	R\$ 2.468,72	R\$ 809,44

Fonte: Os Autores (2024).

A partir da Tabela acima, conclui-se que o método mais produtivo na demolição de paredes de concreto armado, no Silo 240, foi utilizando a *wall saw*, sendo 41,66% mais eficaz que na utilização do martelo rompedor. Conseqüentemente, a execução do serviço é realizada em menos tempo reduzindo os custos indiretos da obra.

Além disso, a curva de aprendizagem e a aquisição do equipamento tornaria os índices ainda mais atrativos ao longo prazo. No entanto, vale destacar que o equipamento hidráulico possui limitações relacionadas a mão de obra qualificada e necessidade de área livre para tombamento das peças.

## 5 CONCLUSÃO

De início é válido destacar a importância do tema da demolição no âmbito da construção civil, dada a complexidade da atividade e suas implicações, bem como seu potencial de crescimento. Contudo, ao longo do desenvolvimento do presente estudo, foi observada uma carência significativa de literaturas acerca do tema, o que representou um obstáculo para o avanço da pesquisa.

Cabe ressaltar que os resultados obtidos nessa pesquisa devem ser utilizados como referência apenas para demolições de concreto armado que possuem características de demolição semelhantes as aplicadas a área de estudo: demolição de cima para baixo (*top down*); e de forma contínua, sem a existência de divisões entre os níveis. Além disso, é importante destacar que para o presente trabalho foram considerados apenas os custos diretos do serviço de demolição, sendo assim não deve ser utilizado como comparativo com estudos que levaram em consideração os custos indiretos em sua análise.

O presente estudo se baseia em um caso prático de demolição envolvendo quatro paredes de concreto armado, resultando em um total de 48,36 metros cúbicos de resíduos de construção e demolição (RCD), com o objetivo principal foi comparar a produtividade e os custos associados ao uso de martelo rompedor e da *wall saw*. Em posse dos resultados obtidos, destaca-se a importância da coleta e análise de dados relacionados a produtividade de execução do serviço, visto que os insumos gerados possibilitam aprimorar a gestão de mão de obra e otimizar o desenvolvimento de novo processos.

Por fim, é fundamental enfatizar a importância de realizar mais estudos sobre demolições e produtividade na construção civil. Visto que, a continuidade das pesquisas acerca dos temas auxilia no desenvolvimento de métodos mais eficazes e práticas de gestão mais eficientes, promovendo uma indústria da construção mais eficiente e inovadora.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. O. C. D.; SOUZA, U. E. L. D. S. Produtividade da mão de obra na execução de alvenaria: detecção e quantificação de fatores influenciadores. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil**, BT/PCC/269, 24 p., 2001.

BARBOSA FILHO, A. N. **Segurança Do Trabalho Na Construção Civil**. São Paulo: Atlas, 2015.

BOSCH. **Site da Bosch Professional**, 2024. Martelo perfurados com SDS plus. Disponível em: <https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/gbh-2-24-d-06112A00E0>. Acesso em: 29 fev. 2024.

BOSCH. **Site da Bosch Professional**, 2024. Martelo demolidor com SDS max. Disponível em: <https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/gsh-11-e-06113168E0>. Acesso em: 29 fev. 2024.

BOSCH. **Site da Bosch Professional**, 2024. Esmerilhadeira Angular. Disponível em: <https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/gws-25-180-06018F30E0>. Acesso em: 29 fev. 2024.

BOSCH. **Site da Bosch Professional**, 2024. Cinzel pontiagudo. Disponível em: <https://www.bosch-professional.com/br/pt/cinzeis-com-ponta-com-encaixe-sextavado-de-28-mm-para-trabalhos-de-precisao-em-concreto-2869044-ocs-ac/>. Acesso em: 29 fev. 2024.

BUILDINGS DEPARTMENT OF HONG KONG. **Code of Practice for Demolition of Buildings**. Disponível em: [https://www.bd.gov.hk/doc/en/resources/codes-and-references/code-and-design-manuals/Demolition\\_e2004.pdf](https://www.bd.gov.hk/doc/en/resources/codes-and-references/code-and-design-manuals/Demolition_e2004.pdf). Acesso em: 3 mar. 2024.

CARRARO, F. **Produtividade da mão-de-obra no serviço de alvenaria**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 226 p., 1998.

CHAVES FILHO, F. **Avaliação do custo de uma obra devido à falta de um planejamento adequado.** Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS, Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2014.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 307 de 2002.** Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com\\_sisconama&task=documento.download&id=18556](https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=18556). Acesso em: 10 fev. 2024.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 348 de 2004.** Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=440](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=440). Acesso em: 10 fev. 2024.

**DIÁRIO DE PERNAMBUCO.** Projeto vai transformar Moinho do Recife em complexo multiuso. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2018/07/projeto-vai-transformar-moinho-do-recife-em-complexo-multiuso.html>. Acesso em: 9 fev. 2024.

DIVEN, J. R.; SHAURETTE, M. Demolition: Practices, Technology, and Management. **Purdue University Press**, 2011.

ECCO AIR. **Site da Ecco Air**, 2024. Insuflação/Exaustor ATS 300. Disponível em: <https://www.eccoair.com.br/portfolio/ats-300/>. Acesso em: 09 mar. 2024.

FLOSI, A. L.; FERREIRA, L. G.; MARQUES, J. S. H. **A demolição: as perspectivas acerca da demolição e estudo de caso com Edifício Prestes Maia.** Trabalho de Conclusão de Curso, Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo, Escola Técnica, São Paulo, 2016.

HILTI. **Site da Hilti**, 2024. Serra de parede DS TS32. Disponível em: [https://www.hilti.com.kw/c/CLS\\_POWER\\_TOOLS\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_WIRE\\_WALL\\_SAWS\\_7124/CLS\\_DIAMOND\\_WALL\\_SAWS\\_7124/r2557](https://www.hilti.com.kw/c/CLS_POWER_TOOLS_7124/CLS_DIAMOND_WIRE_WALL_SAWS_7124/CLS_DIAMOND_WALL_SAWS_7124/r2557). Acesso em: 01 mar. 2024.

LOCADORA NORDESTE. **Site da Locadora Nordeste**, 2024. Balança elétrica 1 a 6 metros. Disponível em: <https://locadoranordeste.com.br/produto/8242/balanca-eletrica-1-a-6-metros>. Acesso em: 03 mar. 2024.

MARTINS, A.; REIS, D.; FABRÍCIO, M.; SOUSA, J. A importância de um Planejamento da Desconstrução de Edifícios. Latin American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities, 2015, Guimarães – Portugal. **Euro-ELECS 2015**. Disponível em: [http://civil.uminho.pt/euro-elecs-2015/files/Euro-ELECS\\_2015-Proceedings\\_Vol3.pdf](http://civil.uminho.pt/euro-elecs-2015/files/Euro-ELECS_2015-Proceedings_Vol3.pdf). Acesso em: 04 ago. 2023.

MOINHO RECIFE. **Site do Moinho Recife Business & Life**, 2024. Sobre o moinho. Disponível em: <https://moinhorecife.com.br/#sobre>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MUSCAT, A. R. N. **Fundamentos da produtividade**. São Paulo: EPUSP/ITQC, 1993.

PARIZI, C. C.; NAAS, I. D. A.; GARCIA, S. 2016. Fatores que influenciam na produtividade do trabalhador da construção civil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 19, p. 26, 2017.

PEÇANHA, A. F.; AMORIM, G. M.; VIEIRA, R. B. A Influência da Produtividade da Mão de Obra no Planejamento. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017**, Belém – PA, 2017.

QUEIROZ, M.N. **Programação e Controle de Obras**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2001.

SOUZA, U. E. L. **Metodologia para o estudo da produtividade da mão-de-obra no serviço de formas para estruturas de concreto armado**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SOUZA, U. E. L. **Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, In: Anais, ANTAC, v. 8, n. 1, 2000.

SOUZA, U. E. L. **Como aumentar a eficiência da mão de obra: manual de gestão da produtividade na construção civil**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

SUÁREZ, O. La seguridad en las obras. 2. ed. Buenos Aires: **Revista Vivienda**, 2006

THOMAS, H.R.; SMITH, G.R. Loss of construction labor productivity due to inefficiency and disruptions: the weight of expert opinion. **Pennsylvania Transportation Institute**, 1990.

TOSCANO, F. **O terceiro homem: a fotografia e o Recife de Ivan Granville**. CEPE Editora. 1. ed., 2017.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman. 2. ed., 2001.