

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ROGÉRIO EXPEDITO RESTELLI**

**INOVAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TIJOLOS  
ECOLÓGICOS**

**PATO BRANCO**

**2021**

**ROGÉRIO EXPEDITO RESTELLI**

**INOVAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS**

**Innovation in the ecological brick production process**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia da Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto

**PATO BRANCO**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



ROGERIO EXPEDITO RESTELLI

**INOVAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 16 de Agosto de 2021

Prof Fernando Jose Avancini Schenatto, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Edson Pinheiro De Lima, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Elizangela Marcelo Siliprandi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Lia Lorena Pimentel, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica de Campinas (Puc-Campinas)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 16/08/2021.

**PATO BRANCO**

**2021**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pela vida e pela educação na formação pessoal;  
à empresa Alroma por tudo que me proporcionou até hoje;  
ao meu irmão Alex por ter me indicado a direção e me mostrado sempre o melhor caminho;  
a todos os professores do PPEGPS que me acompanharam desde a especialização;  
ao meu orientador Fernando J. A. Schenatto por ter depositado sua confiança em mim na arguição, pela enorme paciência para me conduzir, ensinando mais do que conteúdo de matérias, ensinou com exemplos como ser uma pessoa melhor e mais equilibrada;  
aos professores da banca avaliadora, Prof. Edson Pinheiro de Lima com sua enorme bagagem de cultura e conhecimento, Profa. Elizangela Marcelo Siliprandi na atenção dos mínimos detalhes e Profa. Lia Lorena Pimentel, membro do comitê Técnico SINAT Convencionais no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) do Ministério das Cidades, com sua vasta experiência na elaboração de normas técnicas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).  
ao meu colega de sala e amigo Átilas F. de Paiva pela motivação constante, estendendo agradecimentos aos demais colegas da turma;  
ao meu irmão Marcelo Restelli, por estar literalmente do meu lado no dia a dia colaborando para meu crescimento profissional e na revisão desse conteúdo;  
à minha filha Elen Restelli, agradeço imensamente pela compreensão na ausência do meu tempo dedicado durante toda a jornada acadêmica e ainda mais na fase de finalização desse estudo. Sua inteligência emocional por vezes me segurou em pé;  
à minha esposa Vandriane J. de Brito que abriu mão de alguns de seus projetos por nós dois. Agraço muito pela sua paciência, pelo amor em consentir, pela tolerância nos dias mais difíceis e pela sua imensa empatia;  
a todos amigos e familiares que de alguma forma me motivaram; e  
agradeço acima de tudo à Deus, que seja o Meu, o Seu, ou Aquele em que acreditar, respeitando-o(a) da mesma maneira se caso não O considerar.

Serei eternamente grato!

## RESUMO

RESELLI, Rogério Expedito. **Inovação no Processo de Produção de Tijolos Ecológicos. 2021.** 154f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2021.

Novos produtos e novos processos ganham o mercado ao tempo em que medidas de preservação do meio ambiente se intensificam. É cada dia mais comum as leis restringirem o uso de um produto por sua baixa sustentabilidade, seja devido à utilização de recursos finitos, seja pelos danos à saúde humana, animal ou qualquer forma de dano à natureza. Um processo que consome além do necessário também pode estar esvaindo recursos de maneira desordenada. Tratando-se de produtos da construção civil, na base da categoria está o tijolo, com sua singularidade de propriedades físicas e que evolui desde os primórdios do setor. É recente a evolução do método artesanal para os processos de escala industrial, ainda mais no que se refere ao preparo de matéria-prima, cura e embalagem. Reduzir ou até mesmo evitar o consumo de água em um processo, assim como aumentar a produtividade com menor esforço nas atividades, são intensões almejadas em todo ramo industrial. Inserido nesse contexto, este trabalho teve como finalidade avaliar os resultados da implantação de uma inovação no processo de produção de tijolos ecológicos, de modo a construir um novo *framework* do processo de produção. Para isso, inicialmente, foi descrito e caracterizado o processo convencional de produção desse tipo de tijolos, segundo as normas técnicas vigentes. Em outra etapa, a pesquisa procurou discutir particularidades de uma nova forma de produção, respaldada pela literatura e avaliada sob a forma de estudo de caso único, a partir da experiência de uma empresa, localizada no Sudoeste do Paraná-BR. Os procedimentos de pesquisa incluíram a produção de amostras de tijolos ecológicos, aferidas com base nos indicadores de qualidade quanto à resistência à compressão e absorção de água. Além da qualidade das peças, foi abordado o tempo e o uso de recursos no processo de fabricação. Nesses termos, é uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa-quantitativa com dados de origem documental e coleta de dados primários, no contexto de um estudo de caso. Entre os principais resultados, destaca-se o favorecimento no processo de mistura com máquinas que permitem a homogeneização uniforme do cimento em solos úmidos, do que decorre a redução do consumo de água no processo de fabricação, posto que não foi necessário molhar os tijolos por sete dias, como ocorria no método convencional. Outro benefício refere-se à praticidade de uma nova forma de embalagem, que dispensa o serviço de remanusear os tijolos para transporte, o que ocorria apenas depois de 14 dias de cura, no método convencional. Entre outros aspectos, o processo resultou em produtos com qualidade compatíveis às exigências das normas técnicas vigentes, além da pesquisa ilustrar um modelo de matriz para aferição expedita de amostras. Após analisar e discutir as melhorias percebidas, foi estruturado o *framework* do novo processo, apresentando-o como uma inovação para a indústria desse segmento, denominado Método Alroma. Embasado na Teoria de Atributos Percebidos (TAP), foi constatada a inovação no processo em relação ao sugerido pelas normas técnicas brasileiras, que regulam atualmente o processo de preparação da matéria-prima pela ordem inversa do processo inovador, que consiste em secar o solo, triturar, peneirar para só então misturar com o cimento. No método Alroma é possível reduzir o consumo de água no processo de produção em até 110

litros; e na etapa de cura, em até 252 litros, totalizando uma economia de até 362 litros de água para cada mil tijolos produzidos. Entre outras vantagens, estão o menor tempo de processo, com máquinas que permitem a homogeneização do cimento em solo úmido e prensagem nas condições ideais de umidade; além de proporcionar menor esforço físico as máquinas ignoram a secagem e trituração prévia do solo, peneirando apenas no último estágio do preparo da mistura; portanto, prensando com mais umidade dispensa a irrigação dos tijolos e reduz o tempo de cura para utilizar o produto embalando os tijolos imediatamente após a prensagem. As diretrizes de sustentabilidade evocam criatividade para aproveitar melhor nossos recursos, portanto, engajado a essa necessidade, o rigor científico da pesquisa garantiu imparcialidade e leva ao conhecimento público melhorias e avanços para o setor.

**Palavras-chave:** Tijolo Solo-cimento; Tijolo Ecológico; Processo de Produção; Inovação; Sustentabilidade; Construção Civil.

## ABSTRACT

RESELLI, Rogério Expedito. **Innovation in the Ecological Brick Production Process. 2021.** 154p. Master's Thesis in Production and Systems Engineering, Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

New products and new processes gain the market at the same time that measures to preserve the environment are intensifying. It is increasingly common for laws to restrict the use of a product due to its low sustainability, whether due to the use of finite resources, whether due to damage to human or animal health or any form of damage to nature. A process that consumes more than necessary can also be draining resources in a disorderly way. In the case of civil construction products, at the base of the category is the brick, with its unique physical properties and that has evolved since the beginning of the sector. The evolution of the artisanal method to industrial scale processes is recent, especially with regard to the preparation of raw materials, curing and packaging. Reduce or even avoid water consumption in a process, as well as increasing productivity with less effort in activities, these are sought after in every industrial branch. In this context, this work aimed to evaluate the results of the implementation of an innovation in the production process of ecological bricks, in order to build a new framework for the production process. For this, initially, the conventional production process of this type of bricks was described and characterized, according to current technical standards. In another stage, the research sought to discuss particularities of a new form of production, supported by the literature and evaluated in the form of a single case study, based on the experience of a company located in the Southwest of Paraná-BR. Research procedures included the production of samples of ecological bricks, measured based on quality indicators for compressive strength and water absorption. In addition to the quality of the parts, time and use of resources in the manufacturing process were addressed. In these terms, it is an applied research, with a qualitative-quantitative approach, with documentary origin data and primary data collection, in the context of a case study. Among the main results, there is the favoring in the mixing process with machines that allow the uniform homogenization of cement in moist soils, which results in the reduction of water consumption in the manufacturing process, since it was not necessary to wet the bricks by seven days, as in the conventional method. Another benefit refers to the practicality of a new form of packaging, which eliminates the need to rehandle the bricks for transport, what happened only after 14 days of cure, in the conventional method. Among other aspects, the process resulted in products with quality compatible with the requirements of the current technical standards, in addition to the research illustrating a matrix model for expedited measurement of samples. After analyzing and discussing the perceived improvements, the framework of the new process was structured, presenting it as an innovation for the industry in this segment, called the Alroma Method. Based on the Theory of Perceived Attributes (TAP), innovation in the process was found in relation to that suggested by Brazilian technical standards, which currently regulate the process of preparing the raw material in the reverse order of the innovative process, which consists of drying the soil, crush, sieve and only then mix with the cement. For every thousand bricks produced, in the method with direct packaging, it is possible to reduce water consumption in the production process by up to 110 liters; and in the curing stage, up to 252 liters, totaling savings of up to 362 liters of water. Among other advantages are the shorter process time, with machines that allow the homogenization

of cement in moist soil and pressing under ideal humidity conditions; in addition to providing less physical effort, the machines ignore the prior drying and crushing of the soil, sieving only in the last stage of preparation of the mixture; therefore, pressing with more moisture eliminates irrigation of the bricks and reduces the curing time to use the product by packing the bricks immediately after pressing. The sustainability guidelines evoke creativity to make better use of our resources, therefore, engaged with this need, the scientific rigor of the research ensured impartiality and brought to the public knowledge improvements and advances for the sector.

**Key words:** Soil-cement Brick; Ecological Brick; Production Process; Innovation; Sustainability; Civil Construction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo Típico de Tijolo Ecológico.....	33
Figura 2 - Acabamento Parede Pronta com Rejunte e Resina Acrílica .....	34
Figura 3 - Reação da Hidratação do Cimento .....	40
Figura 4 - Sequência de Produção Método Convencional .....	40
Figura 5 - <i>Framework</i> do Método Convencional.....	42
Figura 6 - Etapas da Pesquisa .....	47
Figura 7 - Arranjo Físico.....	61
Figura 8 - Multiprocessador.....	61
Figura 9 - Sequência de Produção Método Alroma.....	62
Figura 10 - Cilindro com Eixo Rotor .....	62
Figura 11 - Diagrama de Precedência.....	64
Figura 12 - Modelo de Matriz – Vista Superior .....	71
Figura 13 - Modelo de Matriz – Vista Lateral.....	71
Figura 14 - Perspectiva Corpo de Prova para Ensaio Método Expedito .....	72
Figura 15 - Entrada do Solo no Estoque .....	73
Figura 16 - Abastecimento com Concha Carregadeira. ....	74
Figura 17 - Dosagem do Solo.....	75
Figura 18 - Pesagem Balde a Balde.....	75
Figura 19 - Adição do Cimento.....	76
Figura 20 - Transferência do Solo para o Cilindro .....	76
Figura 21 - Acionamento do Cilindro e Rotor .....	76
Figura 22 - Checagem Manual de Homogeneidade e Umidade.....	77
Figura 23 - Coleta de Amostra para Aferição da Umidade .....	77
Figura 24 - Aferição da Umidade Digital.....	78
Figura 25 - Vista Superior da Peneira .....	78
Figura 26 - Movimentos da Peneira .....	79
Figura 27 - Resíduos Retidos na Peneira.....	79
Figura 28 - Impureza Retida na Peneira.....	79
Figura 29 - Pesagem dos Resíduos Retidos na Peneira.....	80
Figura 30 - Funil de Armazenamento do Multiprocessador .....	80
Figura 31 - Esteira Transportadora Saída Multiprocessador .....	81

Figura 32 - Esteira Transportadora Descarga na Prensa .....	81
Figura 33 - Material no Silo da Prensa .....	82
Figura 34 - Paletização Direta .....	82
Figura 35 - Paletização Direta das Amostras .....	83
Figura 36 - Embalagem Imediata das Amostras .....	83
Figura 37 - Estoque em Ambiente Aberto .....	84
Figura 38 - Estoque em Ambiente Descoberto.....	84
Figura 39 - Realização de Furos de Ventilação na Embalagem.....	84
Figura 40 - Furos de Ventilação na Embalagem .....	85
Figura 41 - Patologia Mofo .....	85
Figura 42 - Patologia Limo .....	85
Figura 43 - Remoção da Embalagem.....	86
Figura 44 - Remoção Total da Embalagem.....	86
Figura 45 - Pontos de Medição de Cada Face .....	87
Figura 46 - Etapas Eliminadas do Processo Convencional .....	93
Figura 47 - Bolhas de Ar Durante a Saturação.....	95
Figura 48 - Evaporação no Primeiro Dia .....	95
Figura 49 - Condensação no Segundo Dia .....	95
Figura 50 - Framework do Método Alroma .....	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação de Variáveis e parâmetros do Processo/Produto .....	43
Quadro 2 - Configuração das <i>Strings</i> de Busca nas Bases de Dados .....	49
Quadro 3 - Formas da Coleta dos Dados da Pesquisa .....	55
Quadro 4 – Classificação dos Entrevistados .....	56
Quadro 5 - Resultado do Índice de Plasticidade .....	69
Quadro 6 - Determinação do Teor de Umidade .....	69
Quadro 7 - Resultado Aferição Laboratório Acreditado .....	90
Quadro 8 - Quadro de Atributos Percebidos. ....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Portfolio Bibliográfico Obtido com a Revisão Sistemática da Literatura ..	51
Tabela 2 – Tempos das Etapas do Processo .....	63
Tabela 3 - Demandas de potência do Maquinário .....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Estados de Consistência do Solo .....	38
Gráfico 2 - Lote Econômico de Compra: Solo .....	59
Gráfico 3 - Lote Econômico de Compra: Cimento .....	60
Gráfico 4 - Distribuição Granulométrica do Solo .....	68
Gráfico 5 - Teor de Umidade x Densidade .....	70
Gráfico 6 - Relação de Teor de Cimento .....	74
Gráfico 7 - Evolução da Absorção de Água em Condição Natural .....	88
Gráfico 8 - Evolução da Resistência em Condição Natural de Umidade.....	89
Gráfico 9 - Evolução da Resistência em Condição Saturada .....	89

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIações E ACRÔNIMOS

A – Ampère

AASHO – *American Association of State Highway Officials*

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

bar – Unidade de medida de pressão (1 bar = 100.000 Pascals), plural bares

ESG – *Environmental, Social and Corporate Governance*

H.ot. – Umidade Ótima

iNDC – *intended Nationally Determined Contribution*

LEC – Lote Econômico de Compra

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

PVA – Acetato de Polivinilo

MEASM – Massa Específica Aparente Seca Máxima

NBR – Norma Brasileira

NP – Não Plástico

TI – Tecnologia da Informação

µm – Micrômetro

KW – Quilowatts

KWh – Quilowatts-hora

KVA – Quilovolts-ampère

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	21
1.2.1 Objetivo Geral .....	22
1.2.2 Objetivos Específicos .....	22
1.3 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES .....	22
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	24
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	25
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>26</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO .....	26
2.1.1 Inovação em Processo .....	27
2.1.2 Produtos e Processos Ecológicos .....	30
2.2 TIJOLOS SOLO-CIMENTO .....	32
2.2.1 Tipos de Tijolos Solo-cimento e Seu Uso .....	33
2.2.2 Normatização e Qualidade de Tijolos Solo-cimento .....	34
2.3 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO .....	36
2.3.1 Componentes do Produto .....	36
2.3.2 Processo Convencional de Produção de Tijolos Solo-cimento .....	40
2.3.3 Variáveis e Parâmetros do Processo .....	43
<b>3 METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	<b>45</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA .....	45
3.2 ETAPAS DA PESQUISA .....	46
3.2.1 Definição do Tema e Palavras-Chave .....	47
3.2.2 Revisão da Literatura .....	48
3.2.3 Pesquisa Bibliográfica .....	50
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>53</b>
4.1 UNIDADE DE ANÁLISE .....	53
4.2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS .....	54
4.2.1 Entrevistas e Levantamento Documental .....	55
4.2.2 Análise de Amostras e Laudos Técnicos .....	57
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO .....	58
4.3.1 Lote Econômico de Compra para o Solo e o Cimento .....	58

4.3.2 Arranjo Físico de Produção .....	60
4.3.3 Processo de Produção e Consumo de Recursos .....	61
4.3.4 Tempos das Etapas do Processo e Produtividade .....	63
4.3.5 Consumo de Água.....	65
4.3.6 Consumo de Energia.....	66
4.4 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DO SOLO .....	67
4.4.1 Determinação da Curva de Distribuição Granulométrica.....	68
4.4.2 Determinação dos Índices de Consistência.....	68
4.4.3 Ensaio de Compactação - Umidade Ótima e Massa Específica Seca Máxima	69
4.5 PROJETO DE MOLDE PARA AFERIÇÃO EM MÉTODO EXPEDITO.....	71
4.6 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS .....	72
4.6.1 Dosagem da Matéria-prima .....	73
4.6.2 Mistura do Solo e Cimento .....	74
4.6.4 Armazenamento .....	80
4.6.5 Compactação .....	81
4.6.6 Paletização e Embalagem Direta .....	82
4.6.7 Cura Sem Molha.....	83
4.6.8 Estoque .....	84
4.7 ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA EM MÉTODO EXPEDITO .....	86
4.8 ENSAIO DOS CORPOS DE PROVA EM LABORATÓRIO ACREDITADO .....	90
<b>5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>91</b>
5.1 ATRIBUTOS PERCEBIDOS DA INOVAÇÃO .....	91
5.2 ESTRUTURAÇÃO DO FRAMEWORK DO MÉTODO ALROMA.....	99
5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	99
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>102</b>
6.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA .....	103
6.2 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	103
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE A – PLANILHA PARA CONTROLE E PRODUÇÃO DE AMOSTRAS</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE B - UMIDADE NATURAL SOLO (MICRO-ONDAS).....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE C - UMIDADE DA MISTURA (MICRO-ONDAS).....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE D - CÁLCULO TONELADAS COMPACTAÇÃO.....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE E – CRONOGRAMA ROMPIMENTO CORPOS DE PROVA.....</b>	<b>113</b>

<b>APÊNDICE F – SATURAÇÃO CORPOS DE PROVA.....</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICE G – RESULTADOS ROMPIMENTO CORPOS DE PROVA.....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE H – PAQUÍMETRO DE AFERIÇÃO DAS DIMENSÕES.....</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICE I – CORPOS DE PROVA ROMPIDOS .....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE J – DETALHE DO DANO NOS ROMPIMENTOS .....</b>	<b>119</b>
<b>APÊNDICE K – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 7 DIAS .....</b>	<b>120</b>
<b>APÊNDICE L – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 14 DIAS .....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE M – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 21 DIAS .....</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE N – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 28 DIAS .....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE O – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 35 DIAS.....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE P – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 42 DIAS .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE Q – LAUDO AFERIÇÃO LABORATÓRIO ACREDITADO .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE R – LAUDO DE TERCEIRO .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE S – LAUDO DE TERCEIRO .....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE T – LAUDO DE TERCEIRO.....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICE U – LAUDO ENSAIO SOLO - GRANULOMETRIA .....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE V – LAUDO ENSAIO SOLO - LIMITE DE LIQUIDEZ .....</b>	<b>131</b>
<b>APÊNDICE W – LAUDO ENSAIO SOLO - UMIDADE ÓTIMA.....</b>	<b>132</b>
<b>APÊNDICE X – ROTEIRO DE PERGUNTAS ENTREVISTAS.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE Y – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA 1 .....</b>	<b>134</b>
<b>APÊNDICE Z – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA 2.....</b>	<b>143</b>
<b>APÊNDICE AA – CONSUMO ÁGUA CURA MÉTODO CONVENCIONAL.....</b>	<b>151</b>
<b>APÊNDICE AB – AUTORIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES DA EMPRESA.....</b>	<b>152</b>
<b>APÊNDICE AC – AUTORIZAÇÃO ENTREVISTADO 1 .....</b>	<b>153</b>
<b>APÊNDICE AD – AUTORIZAÇÃO ENTREVISTADO 2 .....</b>	<b>154</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A contextualização a seguir situa e apresenta o tema de pesquisa, com intuito de oferecer maior familiarização com os assuntos tratados no seu escopo. Serão abordados detalhes que aproximam o leitor do processo analisado bem como os objetivos, contribuições e as limitações da pesquisa.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O tijolo é um dos materiais de construção mais comuns para edificação de alvenarias, sendo os mais populares os tijolos convencionais de cerâmica. A palavra cerâmica vem do grego *'kéramos'*, que significa terra queimada ou argila queimada (ANICER, 2021). No entanto, uma das alternativas para as construções são os tijolos de solo-cimento, também conhecidos pelo jargão popular de *'tijolos ecológicos'*, basicamente por não serem queimados, dispensando a utilização de combustíveis para o endurecimento.

Os tijolos ecológicos são produtos emergentes de uma tecnologia relativamente recente, portanto, alterações e aprimoramentos nos processos são constantes. Segundo Restelli *et al.* (2018), o tijolo ecológico é produzido por meio da compactação de uma mistura de solo arenoso (material que está acima do nível dos mananciais e que não degrada regiões ribeirinhas) com 12,5% de cimento; porém, esse percentual pode variar em função do tipo do solo, mais ou menos argiloso. O solo está entre os materiais mais sustentáveis, com número ilimitado de ciclos de reciclagem (DAHMEN, *et al.*, 2018). Até mesmo solos salinos de regiões costeiras podem ser estabilizados com aditivos para a produção desses tijolos (YU *et al.*, 2015).

Para Pizani (2006), não existe construção que não gere impactos; a busca é por intervenções que os ocasionem em menor escala. Diante do atual cenário, em que se prioriza a produção verde, com redução de uso dos recursos naturais e preservação do meio ambiente, é evidente a importância de se analisar um processo sustentável, ou pelo menos, menos agressivo. A produção verde consiste na aplicação de práticas ambientais e socialmente sensíveis para reduzir o impacto

negativo das atividades de manufatura e, ao mesmo tempo, harmonizar a busca de benefícios econômicos (BAINES *et al.*, 2012).

A produção de tijolos cerâmicos no método convencional de produção, com queima, de acordo com Baccelli (2010), consome 1,4m<sup>3</sup> de lenha na etapa de queima para cada mil unidades de tijolos, com temperaturas na ordem de 750°C a 900°C, durante 18 horas. Esse é um dado alarmante quando computado relativamente ao total de tijolos produzidos no mundo. O impacto ambiental da indústria da construção civil é imensurável, dadas as proporções do segmento, de modo que minimizar esses danos passa a ser uma prioridade do setor.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2015), o governo brasileiro se comprometeu em reduzir as emissões de gases na atmosfera, formulando sua pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (*intended Nationally Determined Contribution*- iNDC) no Acordo de Paris, em 2015, propondo-se a reduzir as emissões de gases no país em 43% até o ano de 2030. Com 193 Estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU), na resolução A/RES/70/1 se comprometeram com uma agenda para alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais.

No Brasil, a produção de tijolos ecológicos é considerada uma tecnologia emergente, ainda de baixa popularidade e com o método de construção pouco disseminado. São peças com medidas regulares com um sistema de encaixe que dispensa a utilização de argamassa para o assentamento. Comumente utilizando cola branca (PVA) no assentamento, dispensam recortes devido ao tamanho modular (blocos com medidas de largura e comprimento múltiplas de 12,5cm ou 15cm). Seu formato evita as quebras de paredes para passagem de tubulações elétricas ou hidráulicas por possuírem furos verticais, também utilizados para concretagem de colunas embutidas no próprio tijolo formando a estrutura das paredes.

Além de vantagens de uso do material, esse tijolo vem de uma produção que não faz poeira, não gera ruído, resíduos sólidos e nem efluentes. Assim, quando o solo utilizado na produção do tijolo provém de extração legalizada, esse tipo de fábrica dispensa a licença ambiental, sendo suficiente a Dispensa da Licença Ambiental Estadual (DLAE), um documento legitimamente aceito no estado do Paraná, conforme a Resolução nº 51/2009/SEMA (IAT, 2021).

Em meio à demanda por recursos sustentáveis e produtos com o menor impacto ambiental possível, a indústria busca caracterizar novos métodos de produção, menos agressivos. Além de dar visibilidade ao profissionalismo e aprimoramento técnico desses ambientes de fabricação, extinguindo a era artesanal, essa dissertação traz evidências de novos padrões tecnológicos e registra as possibilidades de aperfeiçoamento de produção de tijolos ecológicos. Este trabalho enfoca, particularmente, melhorias sobre o processo em duas etapas da fabricação: na embalagem direta e na cura sem molha.

De acordo com o Boletim Técnico BT-111 (Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais) (ABCP, 2000), o processo convencional de cura de tijolos solo-cimento demanda por sete dias de molha ou irrigação e, segundo a NBR 10833 (Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento) quatorze dias até sua embalagem (ABNT, 2013a). Esse estudo analisa e evidencia melhorias obtidas sobre esses aspectos a partir de inovações sobre o processo produtivo. Após ser avaliado todo o método de produção convencional de tijolos ecológicos, considerando a maneira sugerida pelas normas técnicas brasileiras atuais, buscou-se por um embasamento estruturado, com resultados técnicos na análise de amostras, a concepção e proposição de um novo método.

Inovar não significa necessariamente revolucionar a técnica ou o mercado em questão, basta que haja melhorias significativas e uso real no contexto dos negócios (OECD, 2018), por exemplo: redução de tempos, redução de esforços ou de emissões, quando no âmbito de cunho sustentável. Tamanha é a importância das inovações, que os gestores da indústria estão percebendo as vantagens estratégicas de melhorar os processos, medir progressos e serem mais sustentáveis. O Centro de Lowell para Produção Sustentável (CLPS) define produção sustentável como “a criação de produtos e serviços usando processos e sistemas que: não sejam poluentes; conservem energia e recursos naturais; sejam economicamente viáveis; sejam seguros e saudáveis para os trabalhadores, comunidades e consumidores; e, sejam social e criativamente gratificantes para todos os trabalhadores” (VELEVA; ELLENBECKER, 2001, p. 448).

Empresas com sistemas sustentáveis trabalham com indicadores que medem os efeitos da produção sobre a qualidade de vida e desenvolvimento humano, a longo

prazo. A exemplo, os indicadores apontam a porcentagem de água consumida para a produção de um determinado produto, ou o percentual de energia, assim como o tempo, a quantidade de recursos não renováveis ou finitos, entre outros. Eccles e Serafeim (2015) consideram o registro desses indicadores fundamentais para que funcionários e empregados passem a pensar, buscando novos índices, estimulando a inovação e, por consequência, melhores desempenhos. Para as empresas se tornarem competitivas, cabe estabelecerem metas e objetivos coerentes e relevantes em sua indústria, medirem seus êxitos e falhas usando os indicadores que considerem importantes e viáveis.

Um dos indicadores relevantes para o processo de fabricação de tijolos ecológicos é o tempo de produção. Relata-se que a prática tradicional de fabricação de tijolos nos países em desenvolvimento envolve um tempo médio de processamento de 60 dias, desde a moldagem até o uso na sua finalidade (KAZMI *et al.*, 2016).

Nos estudos de Javed *et al.* (2020), mostra-se uma tendência crescente da resistência à compressão em tijolos associada a altas pressões de moldagem. A resistência à compressão é uma das principais propriedades mecânicas usadas para calcular o valor estrutural dos tijolos (JAVED *et al.*, 2020). Para Bonet *et al.* (2018), a resistência à compressão é a propriedade de engenharia mais crítica para materiais de construção. Portanto, a resistência à compressão é um indicador tido como parâmetro de referência, visto a importância perante o destino de aplicação desse tipo de produto.

Encontra-se nas normas técnicas brasileiras, as quais adotam a terminologia 'solo-cimento' quando tratam dos tijolos ecológicos, o parâmetro de referência para a absorção de água e resistência a compressão. A absorção de água representa o número de poros vazios e capilares permeáveis dos tijolos. Para Javed *et al.* (2020), o percentual de absorção de água dos tijolos melhores compactados reduz significativamente, principalmente devido à redução da porosidade decorrente da pressão de moldagem aplicada durante a fabricação. Conforme Taha *et al.* (2017), os poros são considerados regiões de fraqueza e resultam em redução da resistência mecânica. Para Bonet *et al.* (2018), a absorção de água pode ser considerada como uma medida indireta da porosidade e um fator-chave para a durabilidade dos tijolos. Além disso, a absorção de água está intimamente relacionada à densidade e as microestruturas da matriz do cimento (SIQUEIRA; HOLANDA, 2013). Com base na

literatura, esse é mais um ponto de enfoque abordado com perícia técnica para aferir a qualidade de um tijolo ecológico.

Com base nos últimos argumentos, percebe-se que as propriedades mecânicas das misturas solo-cimento são altamente dependentes das condições de umidade na cura, compactação e da quantidade de dosagem do cimento. Para Riyad e Shoaib (2020), um dos principais fatores para alteração no teor de umidade do solo é a evaporação durante a mistura. O mesmo autor fortalece a teoria de que, se as condições ambientais condicionam a hidratação, a resistência é adquirida continuamente com a idade (tempo de cura).

Estiagens severas alertam para a busca por processos industriais com menor uso de recursos hídricos. Portanto, ao considerar reduzir o consumo de água, tempo de trabalho, ou, em tarefas custosas que possam ser eliminadas causando impacto nos custos e na qualidade da produção, seria possível caracterizar uma inovação na fabricação de tijolos ecológicos em relação ao método convencional? O que se define como problema de pesquisa, delimitado, particularmente, às etapas de embalagem direta e cura sem molha. Assim torna-se relevante a realização de estudos ocupados em caracterizar todo o processo de fabricação de tijolos solo-cimento sob técnicas inovadoras. A avaliação de novas práticas e técnicas, seus potenciais benefícios e prejuízos, contribuem para um aprofundamento do conhecimento sobre o produto e processo enfocados, especificamente para a embalagem direta e a cura sem molha, duas etapas que mostraram relevante destaque para a qualidade final do produto e sustentabilidade do processo. Espera-se, assim, contribuir com o aprimoramento de práticas sobre um processo preexistente e verificar melhorias alcançadas nos parâmetros de qualidade mais relevantes sobre os produtos finais dele decorrentes.

## 1.2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos da pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar os resultados da implantação de inovações no processo de produção de tijolos ecológicos.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- (I) Caracterizar o processo convencional de produção de tijolos solo-cimento, especificando métodos de embalagem e de cura de tijolos solo-cimento, bem como indicadores de qualidade do tijolo;
- (II) Caracterizar o novo método de produção de tijolos solo-cimento, com as alterações nos processos de embalagem e cura em uma fábrica tomada como unidade de análise;
- (III) Avaliar o tempo de batelada e o consumo de água do processo;
- (IV) Avaliar resistência à compressão e percentual de absorção de água das amostras produzidas no estudo de caso;
- (V) Discutir os resultados obtidos à luz da inovação em produto e/ou processo;
- (VI) Estruturar um *framework* incorporando as inovações sobre processo de produção de tijolos solo-cimento.

## 1.3 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÕES

Essa pesquisa visa contribuir com a literatura e com o setor industrial descrevendo um *framework* de um novo processo de fabricação de tijolos solo-cimento, com detalhamento de procedimentos e técnicas inovadoras para as etapas de embalagem e cura sem molha.

Relacionado ao tema, para Varadarajan (2009), a delimitação dada ao tema desta pesquisa remete a uma inovação incremental, com uma tecnologia já conhecida, porém, com qualidades e melhorias em um processo que necessitam ser avaliadas.

Para Polli (2012), as fontes de água estão em risco com o crescimento acelerado da população e o desenvolvimento industrial. Ações humanas, destruição da vegetação, contaminação dos mananciais ou mau uso da água para irrigação entre outras ações, são responsáveis pela escassez e poluição da água. Portanto, o consumo de água aumenta em direção ao maior custo e esgotamento. Ao pensar que todo fabricante de tijolos ecológicos pudesse deixar de molhar seus tijolos (da maneira que rege a norma atual), estaríamos dando a nossa contribuição pela redução de uso dos recursos hídricos. Não bastasse a redução do consumo de água no processo de produção e na dispensa total da água para a cura, o método proposto garante reduzir etapas do processo de fabricação, agilizando a entrega com melhorias na qualidade do produto.

Disso decorre a possibilidade de oferecer uma proposta de atualização dos procedimentos de produção orientados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), também almejada no escopo da pesquisa, dada sua relevância prática.

Conforme a norma técnica brasileira NBR 10833 (ABNT, 2013a), o solo deve ser triturado e peneirado antes da mistura com o cimento, além de exigir a molha do produto por sete dias e permitir o uso somente após o décimo quarto dia da data de fabricação. O boletim técnico BT-111 da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2000), recomenda que para a cura dos tijolos solo-cimento seja feita a molha frequente com regador durante sete dias, com a primeira molha seis horas após a confecção.

O procedimento recomendado pela normatização técnica para o armazenamento e embalagem após a prensagem, também pode ser considerado obsoleto em relação à proposta resultante dessa pesquisa, dado que, segundo a norma NBR 10833 (ABNT, 2013a), é exigido um empilhamento em piso plano e remanuseio do tijolo para acomodação nos paletes em um segundo momento, depois de quatorze dias.

A pesquisa visa registrar, com formalismo e rigor científico, um novo processo de cura e uma nova técnica de embalagem para a produção de tijolos solo-cimento, apresentados como inovações de processo. Com a realização de um estudo de caso em uma empresa brasileira, foi possível ilustrar, avaliar e comprovar os benefícios de aplicação das novas técnicas sobre parâmetros de referência usuais, de modo que

culminou em caracterizar o método em um novo *framework*, de fácil compreensão e aplicação em outras unidades industriais.

A sociedade se vê diante da necessidade de reestabelecer prioridades para o binômio crescimento econômico e preservação ambiental, visando sua subsistência. Contribuiria ao imaginar todos os fabricantes de tijolos ecológicos fazendo diferente do convencional. Assim, além de uma redução da quantidade de água necessária para produção e cura dos tijolos solo-cimento, haveria o ganho na redução de tempo e mão-de-obra no processo com a embalagem direta.

Por fim, busca-se difundir o conhecimento científico, com intuito de promover a evolução de processos (muitas vezes artesanais) e fomentar a discussão, criação ou aprimoramento de novas tecnologias para o setor industrial estudado.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Diante do objetivo de avaliar os resultados da implantação de inovações no processo de produção de tijolos ecológicos, o presente trabalho dá ênfase, especificamente, no processo de cura e na adoção do sistema de embalagem direta.

O controle de qualidade (testes de resistência à compressão e absorção) do produto trouxe informações suplementares para subsidiar uma análise mais cuidadosa sobre a melhoria de processo.

Apesar do tema delimitar etapas específicas de um processo, entende-se que o aprofundamento na análise dessas etapas, cada uma sendo tratada isoladamente, também gere resultados favoráveis ao processo como um todo.

Com recursos de tempo limitados para a pesquisa, foi dado enfoque analítico somente diante das normas técnicas brasileiras, deixando lacunas com possibilidades de maior amplitude, em novas pesquisas internacionais, ou servindo como tema para pesquisas futuras.

Em que pese as limitações inerentes ao método de estudo de caso, em termos da validade externa da pesquisa, a validação de um novo *framework* para o processo de fabricação demanda pela implementação prática desse novo processo, de modo a propiciar as análises pertinentes. Por necessidade de implementar alterações reais sobre o processo, com finalidade exploratória, foi realizado um estudo de caso único. Desta forma, a familiarização com o ambiente de produção, o acesso à investigação

exploratória em uma unidade fabril, com características específicas quanto ao processo adotado, mostra-se pertinente e necessário para alcançar os objetivos pretendidos.

## 1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No Capítulo um são apresentadas a contextualização, os objetivos, a justificativa, a delimitação e a estrutura da pesquisa. No Capítulo dois desenvolve-se o embasamento teórico da pesquisa, enfocando: Sustentabilidade, Inovação e Tijolos Ecológicos. O Capítulo três trata da metodologia da pesquisa: suas etapas, incluindo a estratégia para revisão sistemática da literatura, os métodos e procedimentos para coleta e análise dos dados incorporados aos procedimentos do estudo de caso. No Capítulo quatro apresenta-se o estudo de caso. No Capítulo cinco a análise e discussão dos resultados, com a análise dos atributos percebidos e a estruturação do *framework* do método Alroma. Finalizando, o Capítulo 6 com as conclusões, limitações e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda os principais conceitos e a relevância dos eixos temáticos da pesquisa: sustentabilidade e inovação; e tijolo ecológico, descrevendo suas características e processo de fabricação. Inclui-se na discussão os parâmetros técnicos ou variáveis utilizadas para indicar a qualidade tanto do produto final quanto do processo.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO

Atualmente, empresas que trilham o caminho da sustentabilidade acabam por ganhar vantagem competitiva. Até então, alguns executivos tratam a sustentabilidade como um conceito social; porém, devem atentar-se que os consumidores estão passando a exigir produtos que, além de sustentáveis, sejam acessíveis. Por isso, a sustentabilidade já transforma o cenário competitivo, forçando empresas a mudar a maneira de pensar, criando novos produtos, tecnologias, processos e também novos modelos de negócios.

De acordo com a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMAD (1991), sustentabilidade significa atender às necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas necessidades. Segundo Hart, Milstein e Caggiano (2003), o tripé da sustentabilidade no âmbito corporativo considera a empresa que contribui para o desenvolvimento sustentável oferecendo benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Para Lubin (2010), os temas relacionados à sustentabilidade, como as mudanças climáticas, a poluição industrial, a segurança alimentar e o esgotamento dos recursos naturais, devem ser assuntos de pauta prioritária para as empresas. Nesse sentido, o mesmo autor classifica as empresas em quatro posições distintas: defesa, pensando em tratar o assunto ao longo do tempo; sonhadoras, que estão com a visão e ambição muito longe da capacidade de agir e executar; vencedoras, que obviamente já desfrutam da onda e são consideradas favoritas pela boa reputação; e perdedoras, que ainda pouco aparecem, porém, essas que tem seu foco apenas no custo e risco serão incapazes de manterem suas posições.

Para Nidumolu; Prahalad; Rangaswami (2009), que consideram a sustentabilidade como o motor da inovação, as empresas devem passar por cinco fases para obterem bom engajamento de inovação sustentável. Primeiro, considerando as leis restritivas como oportunidades; depois, reduzindo o consumo de recursos não renováveis. Em terceiro lugar, devem pensar em produtos que o futuro irá exigir, percebendo a enorme fatia de mercado que já está disponível, compreendendo as preocupações dos consumidores e examinando cuidadosamente os ciclos de vida dos produtos. Logo, criar novos modelos de negócios, parcerias, prestações de serviços com cunho social, econômico e ambiental. Por fim, ao chegar na fase cinco, desenvolver plataformas de inovações sustentáveis, pensar nos recursos escassos e criar a partir de questionamentos comuns.

Frases que proporcionaram as tecnologias disponíveis hoje podem ser gatilhos de inovação sustentável, por exemplo: como voar como pássaros? Como se mover sem cavalos? Como mergulhar como peixes? Da evolução com a criação de uma machadinha de lascas de pedra, até os processos de corte em larga escala, a natureza do homem é criar e inovar.

### 2.1.1 Inovação em Processo

As oportunidades de negócios mudam constantemente com as novas tecnologias, as economias se desenvolvem e as prioridades sociais mudam. Uma exploração contínua das necessidades da sociedade leva as empresas a descobrirem novas oportunidades de diferenciação e reposicionamento nos mercados tradicionais, reconhecendo o potencial de novos mercados, que anteriormente estavam esquecidos, não eram viáveis ou não existiam.

Nas afirmações de Porter e Kramer (2011), inovar é criar valor compartilhado, o que é tido como a chave para desbloquear crescimento dos negócios, conduzindo ao progresso social.

Em toda cadeia de valor, deve-se dar atenção para a logística e o uso da energia, aprendendo que o transporte é caro não apenas por causa dos custos de energia e as emissões de poluentes, mas porque acrescenta tempo, complexidade e custos de estoque e de gestão. Precisamos melhorar a utilização de recursos,

aprimorando as tecnologias e considerando fornecedores com materiais de procedência sustentável (PORTER; KRAMER, 2011).

Necessita-se atentar às novas formas de distribuição, como empresas que oferecem textos de literatura acadêmica *on-line*, reduzindo drasticamente o uso de papel e de plástico. Buscar a melhor produtividade dos funcionários, como os incentivos da Johnson & Johnson aos funcionários que param de fumar, acrescentando quinze dias nas suas férias, beneficiando a empresa com uma força de trabalho mais presente e mais produtiva. E por fim, pensar na localização, pois a produtividade e inovação são fortemente influenciados pela constituição de *clusters*, ou concentração geográfica de empresas, como as do ramo de Tecnologia da Informação (TI) no Vale do Silício (PORTER; KRAMER, 2011).

Conscientes disso, muitos países têm implementado regulamentações para forçar as empresas a inovarem, tornando-as mais ambientalmente responsáveis. De acordo com Tang e Zhou (2012), a União Europeia, por exemplo, cria mecanismos de incentivos às empresas que inovam, que investem em tecnologias limpas e que buscam conter suas emissões, na mesma medida em que os consumidores exercem pressão, exigindo das empresas mais atenção às responsabilidades sociais.

Os conceitos básicos de inovação são replicáveis em qualquer ambiente, mas no tema tratado, inovar no processo de produção de tijolos solo-cimento pode ser tão desafiador como em qualquer outro ramo emergente. Segundo Hart, Milstein e Caggiano (2003), reduzir o desperdício e as emissões significa melhor utilização dos insumos, resultando em menores custos para materiais e eliminação de resíduos. Dito isso, pequenas mudanças em um processo, atingindo melhores resultados, são pertinentes e não poderiam deixar de serem registradas.

O tijolo verde, uma inovação sustentável, não é apenas ecológico, mas também um “salvador do meio ambiente”, pois pode utilizar resíduos gerados por outros setores industriais (LOYA; RAWANI, 2017, p.23).

De acordo com o Manual de Oslo (OECD, 1997), uma inovação não precisa necessariamente ser um impactante sucesso comercial. As firmas podem ser classificadas como inovadoras também por inovações implementadas, seja em um produto, processo, método de *marketing* ou uma mudança organizacional. Ainda segundo o mesmo documento, uma inovação em processo é a implementação de um

método significativamente melhorado, que visa reduzir custos, melhorar a qualidade, ou produzir/distribuir produtos novos ou significativamente melhorados.

Visando aprender com lições de novas pesquisas, a versão atualizada do Manual de Oslo (OECD, 2018) evidencia, revisa e amplia a ideia de que os efeitos das inovações podem ser mensurados por indicadores e avaliados pela variação dos índices percentuais resultantes das melhorias.

Mediante a abordagem do tema proposto, nos parâmetros de classificação do Manual de OSLO (1997; 2018), quando uma inovação é tida sobre um método de produção, com alterações de novos equipamentos ou habilidades para o desempenho da tarefa, trata-se de uma inovação de processo limitada ao mercado. Essa inovação traz eficiência e tende a alterar resultados de faturamento, podendo ser analisada com um percentual de maior produtividade ou melhores índices nos parâmetros de aferição de qualidade sobre o produto final.

Trazendo à discussão a obra clássica de Rogers (2003), uma inovação é entendida como uma ideia, prática ou objeto que é percebido como novo por um indivíduo ou outra unidade de adoção. O autor considera que para uma inovação ser considerada integrada, deve ultrapassar a marca de dezesseis por cento de consumido/aceito pelo mercado ou população em questão.

Entre os importantes aspectos abordados na Teoria da Difusão da Inovação (TDI) (ROGERS, 2003), encontra-se a Teoria de Atributos Percebidos, que, como o próprio nome diz, considera que a taxa de difusão de uma inovação irá aumentar na medida em que forem facilitadas as percepções individuais e coletivas sobre os seguintes atributos: vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, capacidade de testagem e observabilidade.

Para Rogers (2003), a Vantagem Relativa é o grau de melhoria considerada em relação a nova ideia que substitui a anterior, onde, com a maior vantagem virá uma maior taxa de adoção. A Compatibilidade diz respeito ao grau em que uma inovação é percebida como consistente com os valores e normas existentes, experiências passadas e necessidades de possíveis adotantes prevaletentes em um ambiente social. A Complexidade refere-se ao grau em que uma inovação é percebida como difícil de entender e usar, quanto mais fácil (de se entender ou usar), mais rapidamente será adotada. A Capacidade de Testagem trata o grau que a inovação pode ser experimentada, quando possível, representa menos incerteza pois pode

aprender antes mesmo de aderir. Por fim, a Observabilidade, como o nome propõe, é o grau em que os resultados da inovação são visíveis para os outros. Quanto mais difícil de ver o resultado da inovação menor a probabilidade de adoção.

Não se tem dados do percentual de uso do tijolo solo-cimento no Brasil em relação aos demais tipos de tijolos. No entanto, para ganhar espaço no mercado, o tijolo ecológico tende a evoluir entre atualizações de normas técnicas, evoluções dos métodos de produção e novos parâmetros de qualidade.

### 2.1.2 Produtos e Processos Ecológicos

Paralelamente ao desempenho ambiental, social e de governança corporativa, do inglês *environmental, social and corporate governance* (ESG), para aumentar o desempenho financeiro, as empresas devem alinhar seus produtos e processos para atividades que ajudem a sociedade. De todo modo, a redução de emissões ou os investimentos em iniciativas de formação de jovens muitas vezes têm custos elevados, por isso, a solução de menor custo com ganho no desempenho ambiental pode estar na inovação em processos, produtos ou modelos de negócios, podendo alavancar lucros com a melhora no *ranking* ESG (ECCLES E SERAFEIM, 2015).

De acordo com Eccles e Serafeim (2015), quatro iniciativas são necessárias para desenvolver produtos ou processos ecológicos. Primeiro, identificar problemas de ordem ESG, que vão desde as emissões de CO<sub>2</sub>, consumo de água, uso de energia, gestão de resíduos, até as práticas de trabalho e segurança dos funcionários. Logo em seguida, indica-se quantificar a relação entre finanças e desempenho ESG; essa ainda com certa debilidade para mensuração, no entanto, cabe à empresa estabelecer os parâmetros de referência julgados críticos. Terceiro, medir o desempenho financeiro, assim, depois de saber onde concentrar esforços, muitas melhorias envolvem inovações menores que podem ganhar eficiência e, por consequência, gerar lucros. A quarta e última iniciativa a ser atendida ocupa-se em comunicar as inovações da empresa para as partes interessadas.

Conforme Eccles e Serafeim (2015), grandes inovações muitas vezes exigem investimentos significativos e os benefícios não são vistos de imediato, além de seu retorno ser lento. Daí a importância de as empresas justificarem esses investimentos, não apenas em um documento ou com uma notícia em seus *sites*, mas em redes

sociais e contando com a participação e interação dos clientes, gerando discussões sobre sustentabilidade e afluindo as expectativas das pessoas para a empresa.

Definitivamente, produtos e processos ecológicos são uma tendência, empurrados, de certa maneira, pelas necessidades e debilidades do planeta. De acordo com Louette (2009), um sinal disso, no mercado financeiro, é o apreciado Índice de Sustentabilidade Empresarial em Bolsas de Valores, o Dow Jones, foi o primeiro grande grupo a incorporar sustentabilidade aos seus produtos. O Dow Jones Sustainability Index – DJSI, que faz a seleção das companhias a partir de um amplo questionário centrado em desempenho ambiental, social e econômico, incluindo indicadores de governança corporativa. Nota-se que o mercado financeiro já classifica as empresas por sua reputação sustentável, o que faz acreditar que, no mínimo, já há muito a ser feito para valorizar a imagem organizacional perante à concorrência.

Há alguns anos iniciou-se uma tendência mundial de investidores procurando empresas socialmente responsáveis, sustentáveis e rentáveis para aplicar seus recursos. Tais aplicações, são denominadas Investimentos Socialmente Responsáveis (SRI). A partir dessa constatação econômica, a Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa) criou o Novo Mercado e também o Índice de Ações com Governança Corporativa Diferenciada (IGC). Então, o Brasil tem feito, até certo ponto, seu papel e está na formação de tendências e normativas para que empresas atuem visando a criação e desenvolvimento de produtos e processos ecológicos.

A Europa é vista como líder de países sustentáveis e o lar mais maduro de empresas e indústrias com as melhores abordagens para a sustentabilidade. De acordo com o Haanaes *et al.* (2012), na Europa, as empresas apresentam um CEO comprometido com relatórios específicos de sustentabilidade, funções exclusivas, uma pessoa exclusiva para sustentabilidade em cada unidade e um diretor de sustentabilidade. Há empresas comprometidas com as práticas e atenção às mudanças climáticas, à escassez de recursos, às incertezas e a volatilidade da economia. Estão buscando equilíbrio entre a liderança sênior e a gestão para ter sucesso. Lá, é normal que as empresas precisem fazer parcerias com organizações que se encontram fora dos negócios, como fornecedores, ONGs e grupos de cidadãos. As empresas que criam produtos ecológicos estão olhando além da publicidade e vendas: elas não veem os lucros emergindo no futuro, mas hoje mesmo.

## 2.2 TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Os tijolos são um dos materiais de construção manufaturados mais antigos e mais usados do mundo (UKWATTA; MOHAJERANI, 2017). Sua popularidade para a construção de casas é devida à disponibilidade, relação custo-benefício para a construção, durabilidade, conforto térmico e resistência adequada às intempéries (JAYASINGHE; FONSEKA; ABEYGUNAWARDHENE, 2016). Já o tijolo ecológico é um tipo de tijolo verde, uma inovação sustentável, e não é apenas ecológico, mas também um salvador do meio ambiente, pois utiliza resíduos gerados por outros setores industriais como entulho de obras, vidro, pó de pedra, mas à princípio usa solo arenoso e cimento (LOYA; RAWANI, 2017).

Os tijolos ecológicos são oriundos da tecnologia solo-cimento. De acordo com a terminologia técnica utilizada pela ABNT (2016a), tijolo de solo-cimento é um componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland e água.

A crescente exploração mineral vem alertando as autoridades e a população para as atividades da indústria da construção civil. Por isso, seguir princípios de desenvolvimento sustentável, utilizando tecnologias que priorizem a prevenção, redução, reutilização e reciclagem de materiais está alinhado com os princípios atuais mais valorizados. Para Yu *et al.* (2015), o momento é impulsionado pelas considerações de construção sustentável, uma vez que a produção de tijolos ecológicos não possui processo de queima, logo, é uma tendência.

Os tijolos ecológicos resultam da mistura de solo arenoso, cimento e água em proporções predeterminadas, e apresentam bom desempenho termoacústico, além de serem resistentes, duráveis e baratos (BARROS *et al.*, 2020). Javed *et al.* (2020), reafirmam que esses tijolos têm potencial eficiência energética devido às suas propriedades de isolamento térmico.

De acordo com o estudo de Reis (2020), o processo de fabricação de tijolos solo-cimento é simples. Após as etapas de mistura com cimento e moldagem, as peças são armazenadas, mantendo os tijolos úmidos por sete dias, garantindo a cura.

Segundo Oti; Kinuthia; Bai, (2009), o cimento é um material que une corpos sólidos, como agregados e solo, ao endurecer. Isso funciona formando uma liga

quando misturado com água, desenvolvendo rigidez e aumentando continuamente a resistência à compressão por reações químicas com água (hidratação).

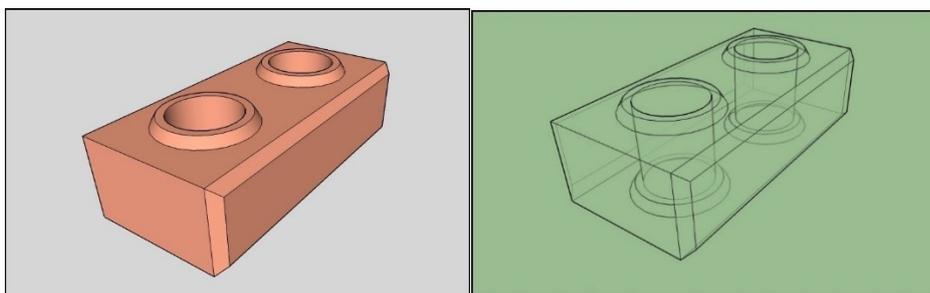
Para Dahmen *et al.* (2018), a variação de energia de compactação provavelmente se deu com a evolução da fabricação e a otimização dos processos. Seu estudo evidencia também que os blocos solo-cimento minimizam os efeitos nocivos à qualidade ecológica em comparação com os blocos de concreto. Ainda segundo os mesmos autores, os blocos solo-cimento têm impactos substancialmente mais baixos na saúde humana, o que é especialmente pronunciado no tópico do estudo atribuído à análise de toxicidades cancerígenas em humanos.

### 2.2.1 Tipos de Tijolos Solo-cimento e Seu Uso

Os tijolos solo-cimento mais utilizados no mercado brasileiro têm as medidas de 12,5x25x7cm e 15x30x7cm em largura, comprimento e espessura, respectivamente. Pesando entre 3kg e 5kg por peça, são fabricados em máquinas de acionamento mecânico/manual ou sistemas hidráulicos, que compactam o solo em moldes, definindo suas dimensões e formatos.

Os modelos mais comuns, possuem dois furos verticais com sistema de encaixe (macho-fêmea), conforme ilustra a Figura 1, mas também podem ser encontrados no modelo maciço, sem os dutos e sem encaixes.

**Figura 1 - Modelo Típico de Tijolo Ecológico**



**Fonte: Elaborado pelo autor**

Os tijolos ecológicos são utilizados na construção de casas térreas, sobrados, muros, churrasqueiras, fornos, entre outras aplicações. Sua tecnologia de utilização não requer massa para o assentamento e apenas a cola PVA é tida como suficiente para acomodação. Os dutos formam espaço para colunas de sustentação,

dispensando madeiramento para confecção dos pilares, assim, toda a sustentação das paredes fica camuflada pelo próprio tijolo (ALROMA, 2021). Após a parede edificada, o rejunte e a impermeabilização finalizam como opções de acabamento, permitindo o reboco, textura, gesso, a aplicação direta da cerâmica, entre outras formas de finalização. Assim como todo tijolo, o tijolo ecológico também exige algum desses tipos de acabamento para a proteção contra intempéries, como ilustra-se, na Figura 2, uma parede pronta com o acabamento com rejunte e resina acrílica.

**Figura 2 - Acabamento Parede Pronta com Rejunte e Resina Acrílica**



**Fonte: Alroma (2021)**

Com as medidas proporcionais de largura e comprimento, os tijolos ecológicos são tratados também por tijolos modulares, facilitando o assentamento com o uso de tijolos “meio”, sendo que duas partes da largura formam o comprimento total da peça.

Relata-se vantagens no uso desse produto com a diminuição de utilização de cimento por não necessitar massa de assentamento, dispensar a quebra de paredes para passagem de instalações elétricas ou hidráulicas e por agilizar a execução da obra (ALROMA, 2021).

### 2.2.2 Normatização e Qualidade de Tijolos Solo-cimento

Até a data da presente pesquisa os tijolos e blocos de solo-cimento devem atender a normas técnicas específicas para materiais de vedação. As atuais normas de certificação de qualidade são a NBR 10833 (ABNT, 2013a), NBR 8491 (ABNT, 2012), NBR 8492 (ABNT, 2012) e a NBR 10836 (ABNT, 2013b), todas redigidas e regulamentadas pela ABNT.

Conforme a NBR 8491 (ABNT, 2012), para um ensaio de tijolos solo-cimento, cada amostra deve ser composta por 10 unidades de tijolos, que, no primeiro momento, devem ser submetidos à análise dimensional. A dimensão de cada face é o valor médio de três determinações, em três pontos distintos da mesma face, tanto na espessura, quanto largura, quanto comprimento. As dimensões devem atender à tolerância de fabricação de 1mm para cada uma das três dimensões nominais NBR 8492 (ABNT, 2012). Dimensões nominais são as medidas externas do tijolo indicadas pelo fabricante (Ex: 12,5x25x7, largura x comprimento x altura), como indica a NBR 8491 (ABNT, 2012). Realizada a análise dimensional, sete tijolos são destinados para o ensaio de resistência à compressão e três tijolos ao ensaio de absorção de água.

De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012), a amostra deve apresentar resistência média de ensaio à compressão com valores maiores ou iguais a 2,0 Megapascal (MPa). Já os valores individuais da amostra devem ser iguais ou maiores a 1,7 MPa.

A referida norma menciona também que a amostra deve respeitar a idade de 28 dias de cura para a realização dos ensaios. No ensaio de absorção de água, a média da amostra não deve exceder 20% de absorção e os limites individuais não podem exceder 22% de absorção.

Baseando-se pelo concreto, de acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), a cura é a manutenção da umidade no cimento até seu endurecimento. Os agentes que podem prejudicar na cura são as mudanças bruscas de temperatura, o processo de secagem, incidência de chuva forte ou vento, congelamento, agentes químicos ou vibrações que possam produzir fissuras. Portanto, segundo ABNT (2004), a cura deve ser livre de agentes prejudiciais enquanto não houver endurecimento satisfatório. A referida norma sugere que a quantidade de água utilizada na fabricação de uma peça seja mantida em seu interior nessa etapa, evitando, sobretudo, a evaporação.

Não foram encontrados procedimentos normativos brasileiros para embalagem dos tijolos, mas a ABCP (2000) sugere proteger os tijolos com uma lona quando a estocagem ocorrer em área descoberta, para evitar a perda de água acelerada. Conforme a NBR 10833 (ABNT, 2013a), os tijolos podem ser realocados em paletes após 14 dias da produção e disponibilizados para comercialização, porém, não há uma norma orientando especificamente para a embalagem. Avançamos no próximo

capítulo detalhando os componentes do produto, com o entendimento do processo de produção convencional de tijolo solo-cimento e as variáveis do processo.

## 2.3 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO

Nesse capítulo será descrito o processo convencional de produção de tijolos solo-cimento, seu *framework*, as variáveis e parâmetros do processo. Antes de iniciar com os detalhes do processo convencional, é abordado no próximo item os componentes do produto.

### 2.3.1 Componentes do Produto

Segundo Abiko (1980), em 1915, nos Estados Unidos, o engenheiro Bert Reno utilizou a tecnologia solo-cimento pela primeira vez, que pavimentou uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland. No entanto, só em 1935 a Portland Cement Association (PCA), iniciou as pesquisas estudando a tecnologia. Desde então, o solo-cimento tem sido empregado principalmente em pavimentação de estradas e aeroportos.

Também se conhece a utilização da técnica solo-cimento em revestimento de canais, diques, reservatórios, barragens de terra, taludes, tijolos, blocos e painéis para a construção de moradias (ABIKO, 1980). Na cidade de Palmas, no Paraná, Edson Kemes, fundador do projeto 'Proteja uma Nascente' realiza a restauração de nascentes utilizando a tecnologia solo-cimento. Até a presente data, mais de 110 nascentes foram tratadas com essa tecnologia na sua estrutura, para preservação.

A escolha e coleta da matéria-prima base do tijolo, o solo, é delimitada por critérios técnicos. A crosta terrestre é a parte sólida externa do globo. A parte superior ou superficial, consiste em uma camada de material fragmentário solto e de profundidade variável. A parte superior dessa camada, que varia em espessura, é chamada de solo.

De acordo com o Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais dos Estados Unidos da América – DAES-EUA (1964), a rocha viva é transformada em solo após sofrer alterações decorrentes de processos mecânicos (desintegração),

processos químicos (decomposição) e processos mecânico-biológicos. Assim, o solo pode ser considerado um composto de matéria sólida, matéria líquida (água) e matéria gasosa (ar). A matéria sólida do solo é formada por fragmentos minerais em vários estágios de desintegração e decomposição. Os componentes sólidos com maior degradação de desintegração incluem areia, silte e argila. Misturada a eles está uma quantidade variável de matéria orgânica.

A camada superior do solo, que é chamada de 'solo superficial', geralmente contém uma proporção considerável de matéria orgânica como resultado do acúmulo de restos minerais e vegetais. Abaixo da camada de solo superficial está o subsolo, contendo pouca ou nenhuma matéria orgânica. Esse material, o subsolo, é a matéria prima utilizada para produção de tijolos solo-cimento, justamente por não conter material orgânico. De acordo com Machado (2013), a ausência de matéria orgânica melhora as propriedades mecânicas nas misturas de solo-cimento, quando sua presença pode interferir nas reações químicas fundamentais do cimento.

Nem todos os solos são adequados para a produção de tijolos do solo-cimento. Para o DAES-EUA (1964), os solos arenosos devem ser escolhidos, pois produzem os melhores resultados, quando estabilizados. A proporção ideal é de 75% de areia e 25% de silte e argila. O conteúdo de argila nesta última porcentagem não deve ser inferior a 10%, pois a areia em um solo constitui a estrutura, mas uma certa quantidade de argila é necessária para unir a massa (DAES-EUA, 1964). Para Abiko (1980), a argila é uma rocha finamente dividida, constituída também por outros minerais do tipo calcita, dolomita, gibbsita, quartzo, pirita, alumina, matérias orgânicas e impurezas. É um material de textura terrosa e de baixa granulometria, que desenvolve plasticidade quando misturado com uma quantidade limitada de água, por isso tem a função de aglomerante das partículas de maiores dimensões (ABIKO, 1980).

Para a NBR 10833 (ANBT, 2013a), as características adequadas do solo para produção de tijolos solo-cimento são:

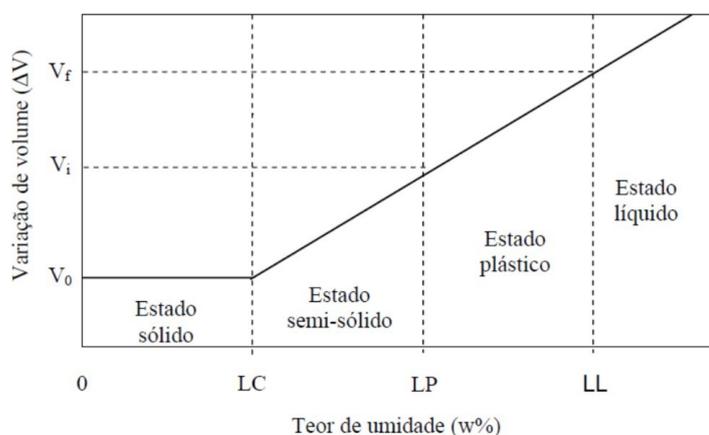
- 100% do solo deve passar por peneira 4,8 mm;
- 10% a 50% do solo deve passar pela peneira 0,075 mm;
- o limite de liquidez seja igual ou inferior a 45%;
- o índice de plasticidade seja igual ou inferior a 18%.

Os ensaios em laboratório recomendados para análise do solo devem seguir os parâmetros estabelecidos pelas seguintes normas:

- NBR 6457 - Preparação de amostra de solo para ensaio de compactação e ensaio de caracterização (ABNT, 2016c);
- NBR 6458 - Determinação da massa específica dos grãos de solos (ABNT, 2016d);
- NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez (ABNT, 2016e);
- NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade (ABNT, 2016b);
- NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica (ABNT, 2017);
- NBR 7182 - Solo - Ensaio de Compactação (ABNT, 2020).

Para um bom entendimento dos índices de consistência, está ilustrado no Gráfico 1 os estados de consistência do solo. A plasticidade é uma propriedade do solo que determina a maior ou menor capacidade de ser moldado em certas condições de umidade sem que ocorra a variação do volume.

**Gráfico 1 - Estados de Consistência do Solo**



**Fonte: Caputo (2015)**

Conforme a NBR 10833 (ABNT, 2013a), é recomendado para produção de tijolos solo-cimento que a plasticidade deva ser menor ou igual a 18%. A liquidez é definida como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como um material plástico, é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. Conforme o NBR 10833 (ABNT, 2013a), é recomendado para produção de tijolos solo-cimento que a liquidez deva ser menor ou igual a 45%.

O segundo componente do produto é o cimento. De acordo com a ABCP (2002), o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. É constituído por clínquer, gesso, materiais pozolânicos, escória de alto forno e materiais carbonosos, em proporções que variam para determinados tipos de cimento e suas finalidades.

Segundo a ABCP (2000), os tipos de cimento que podem ser utilizados para fabricação de tijolos solo-cimento são, cimento Portland comum, composto, de alto-forno, pozolânico ou de alta resistência inicial. Suas especificações estão contidas na NBR 16697 (ABNT, 2018).

Para o DAES-EUA (1964), a percentagem de cimento para as misturas solo-cimento é determinada experimentalmente, variando a proporção do cimento em volume entre 4,75% e 12,5% em relação ao volume de solo. Solos mais arenosos demandam menos cimento, enquanto solos mais argilosos demandam mais cimento.

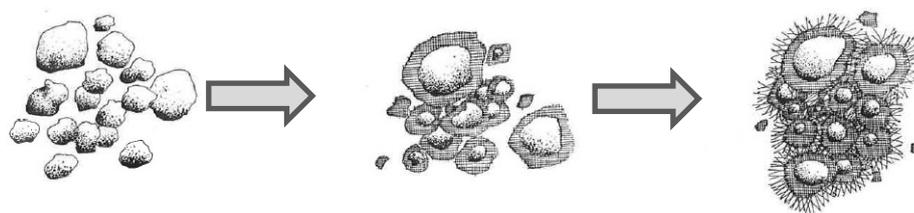
A água é o último componente do tijolo solo-cimento e, conforme a ABCP (2000), essa, deverá ser isenta de impurezas nocivas à hidratação do cimento, sendo considerada como adequada para esse processo toda a água potável.

Existe um percentual específico de umidade para a compactação de cada tipo de solo. Trata-se por teor de umidade ótimo ou umidade ótima o percentual atribuído nos ensaios verificados na NBR 7182 (ABNT, 2020). O ensaio de compactação do solo determina o índice de umidade ideal para a melhor aglomeração das partículas do solo, diminuindo os espaços vazios, assim, diminuindo a permeabilidade e ao mesmo tempo tendo como resultado um material mais denso e com maior resistência a compressão.

No estudo de Grande (2003), mesmo com o ensaio de compactação de solo determinando 10% como o percentual de umidade ótima de compactação, não foi possível prensar as peças. Isso devido aos equipamentos disponíveis à época não proporcionarem a consistência mínima necessária para manusear o produto, o que o obrigou a prensar com 5% de umidade.

Abiko (1980) constatou que em duas horas após a adição de água na mistura solo-cimento, os grãos cristalinos e angulares do cimento são envolvidos por uma membrana gelatinosa, representando a pega ou liga, conforme ilustra a Figura 3.

**Figura 3 - Reação da Hidratação do Cimento**



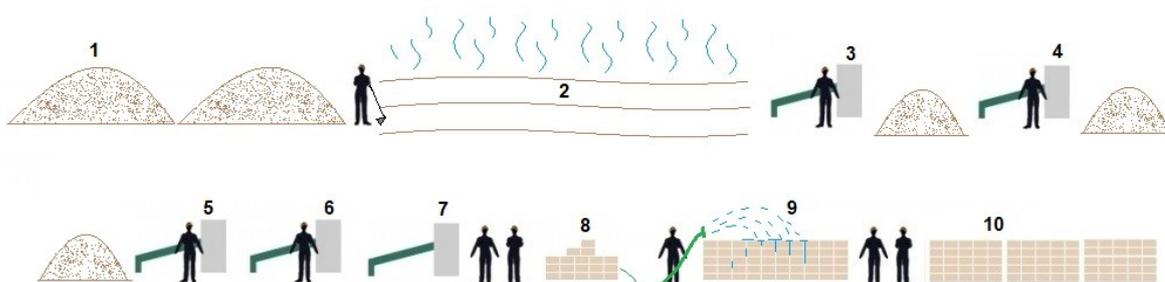
**Fonte: Adaptado pelo Autor de Abiko (1980)**

Os grãos se unem através dos pontos de contato das membranas e a rede formada contribui para a diminuição da plasticidade ao longo do tempo (ABIKO, 1980). Com essa referência sobre os componentes do produto, no próximo item é tratado o processo de produção.

### 2.3.2 Processo Convencional de Produção de Tijolos Solo-cimento

No processo convencional de produção de tijolos ecológicos, o solo deve estar seco e, conforme recomendação da ABCP (2000), deve ser armazenado nessas condições. Portanto, sua extração não deve ocorrer em tempo úmido ou com chuva. Quando molhado, o solo (1) deve passar pelo processo de secagem (2), conforme ilustra a Figura 4. Seco, o material segue para destorroar ou triturar (3) e peneirar (4).

**Figura 4 - Sequência de Produção Método Convencional**



**Fonte: Adaptado de Alroma (2021)**

O solo, destorroado e peneirado, é colocado sobre uma superfície lisa e limpa (de preferência cimentada) e espalhado numa camada não superior a 20 cm de espessura. Em seguida, o cimento é distribuído sobre a camada de solo. Com o auxílio de pás e enxadas é processada a mistura do solo com o cimento, até que se obtenha

coloração uniforme. Apesar de não ser adequado, é comum ver esse procedimento sendo realizado com betoneira (5).

Se necessário, é indicado adicionar água aos poucos, até que se atinja a umidade ótima. Quando a mistura atingir a umidade desejada, recomenda-se proceder a um novo peneiramento (6), dessa vez, para permitir uma melhor homogeneização da água no solo-cimento (ABCP, 2000). De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2013a) deve-se misturar o cimento ao solo já destorroado e peneirado, homogeneizando até obter uma coloração uniforme, só então colocar água aos poucos até atingir a umidade ideal de trabalho.

A ABCP (2000), sugere a verificação da umidade da mistura da seguinte forma prática:

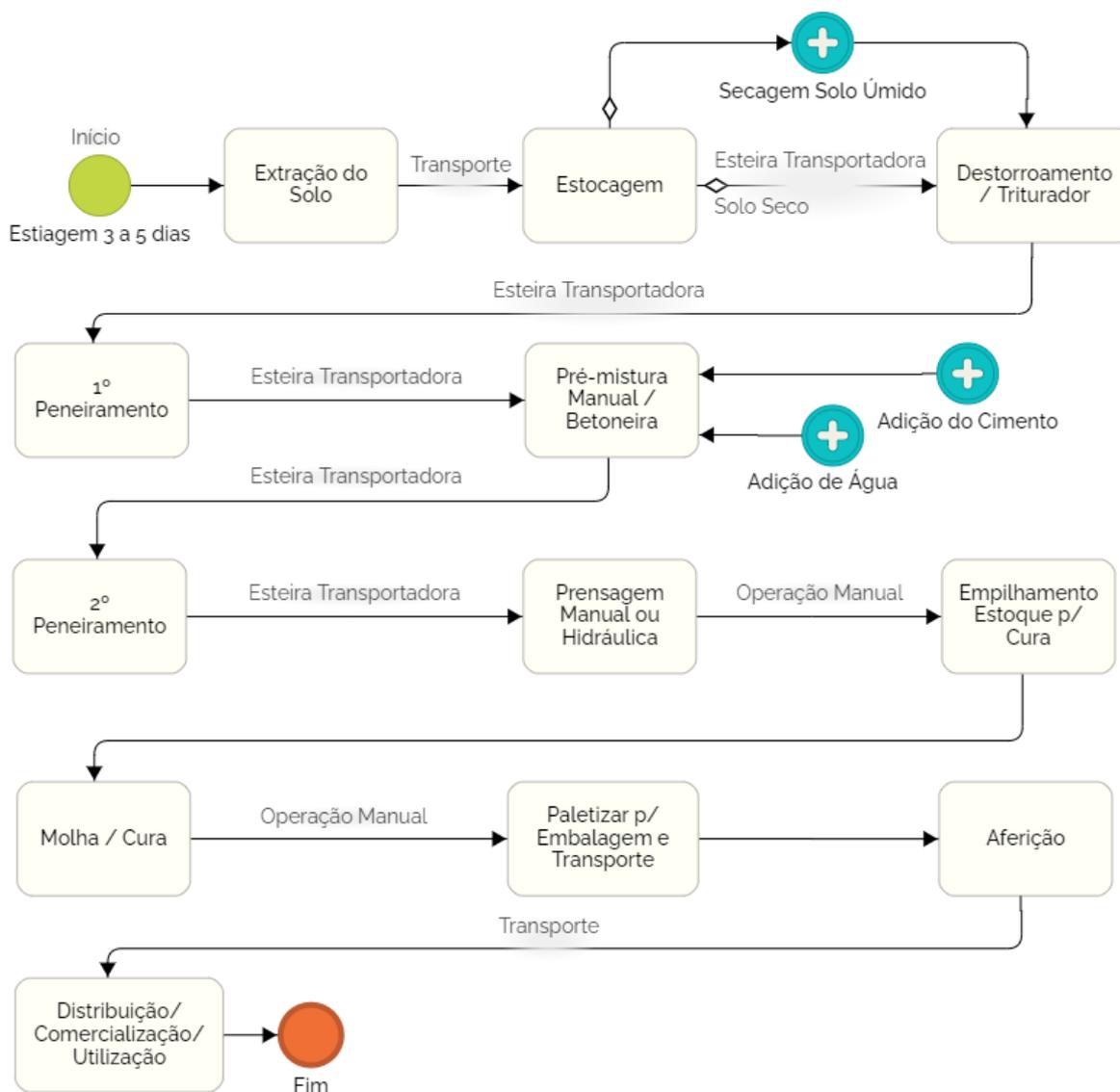
- a) toma-se um punhado da mistura e aperta-se energicamente entre os dedos e a palma da mão, ao se abrir a mão, o bolo deverá ter a marca deixada pelos dedos;
- b) deixando-se o bolo cair, de uma altura aproximada de 1m, sobre uma superfície dura, ele deverá esfarelar ao chocar-se com a superfície. Se isto não ocorrer, a mistura estará muito úmida.

Após o segundo peneiramento, a mistura passa para o setor de prensagem, em moldes. Um operador manuseia a prensa (7) e outro colaborador extrai os tijolos da prensa. Conforme ABCP (2000), logo após a prensagem, os tijolos produzidos são retirados dos moldes, cuidadosamente, a fim de evitar quebras ou fissuras, e transportados em bandejas para a área de cura. Os tijolos devem ser colocados à sombra, sobre uma superfície plana (8) e empilhados até uma altura máxima de 1,5m. Se o solo utilizado for muito arenoso e não for possível empilhar os tijolos logo após a fabricação, pode-se deixá-los no primeiro dia depositados na bandeja, fazendo-se o empilhamento no segundo dia.

Após a estocagem dos produtos prensados, inicia o processo de cura. Para a ABCP (2000), após seis horas da moldagem e durante os 7 primeiros dias, os tijolos devem ser umedecidos constante e frequentemente com regador munido de chuveiro (9), a fim de garantir a cura necessária. Quando a estocagem ocorrer em área descoberta, deve-se proteger a pilha com uma lona (ABCP, 2000). Conforme a NBR 10833 (ABNT, 2013a), dados 14 dias, os tijolos podem ser realocados em paletes (10), disponibilizados para distribuição, comercialização e sua devida utilização.

Sendo assim, a Figura 5 ilustra o *framework* completo do processo convencional de produção de tijolos solo-cimento, baseado na literatura descrita e nas normas vigentes.

**Figura 5 - Framework do Método Convencional**



**Fonte: Elaborado pelo autor**

A pesquisa permitiu estruturar o *framework* convencional baseado nas recomendações e orientações das normas vigentes, no entanto, a sequência não é um padrão e pode sofrer variações pelas particularidades de cada região, tendo em consideração o clima ou tipo e características de cada solo. Já embasado em documentos da pesquisa e experiência prática com equipamentos convencionais, foi possível descrever o cenário com nitidez e similaridade ao praticado na região sul do

Brasil, de clima úmido e com chuvas o ano todo. Na sequência, serão abordadas as variáveis e parâmetros do processo.

### 2.3.3 Variáveis e Parâmetros do Processo

A pesquisa bibliográfica incorporada neste relato revelou que o processo de produção de tijolos solo-cimento está bem documentado na literatura (DAES-EUA, 1964; ABIKO, 1980; ABCP, 2000; ABNT, 2012 a 2020;). Portanto, são conhecidos os critérios para avaliar os aspectos mencionados sobre as propriedades de qualidade e as maneiras de se executar a avaliação das amostras de tijolos ecológicos.

O Quadro 1 apresenta os construtos e as principais variáveis a serem analisadas, bem como os parâmetros identificados.

**Quadro 1 - Relação de Variáveis e parâmetros do Processo/Produto**

Construtos	Variáveis	Referências	Norma	Parâmetro ou unidade de medida
Classificação do Solo	Preparação para Ensaio	ABNT (2016c)	- NBR 6457	-
	Massa Específica	ABNT (2016d)	- NBR 6458	g/cm <sup>3</sup>
	Limite de Liquidez	ABNT (2016e)	- NBR 6459	≤ 45%
	Limite de Plasticidade	ABNT (2016b)	- NBR 7180	≤ 18%
	Análise Granulométrica	ABNT (2017) ABNT (2013a)	- NBR 7181 - NBR 10833	100% ≤ 4,75mm 10 a 50% ≤ 75µm
	Limite Mínimo de Argila	DAES-EUA (1964)	-	10%
Cimento	Teor de Cimento em Massa	ABCP (1986)	- ET-35	5~13%
Compactação	Sensibilidade Prática	ABCP (2000)	- BT-111	Visual
	Umidade Ótima (Proctor)	ABNT (2020)	- NBR 7182	%
	Massa Específica Aparente Seca Máxima (Densidade)	ABNT (2020)	- NBR 7182	g/cm <sup>3</sup>
Cura/molha	Tempo de cura	ABCP (2000) ABNT (2013a)	- BT-111 - NBR 10833	> 7 dias
	Total de água na molha p/ cura de 1000 un.	Sem	Sem	Sem
Armazenamento / Embalagem	Tipo de Armazenamento	ABNT (2013a)	- NBR 10833	à sombra, em superfície plana por 14 dias
Teste de Resistência à Compressão	Limite de Rompimento do Corpo de Prova MPa (Megapascal)	ABNT (2012)	- NBR 8491 - NBR 8492	Individual ≥ 1,7MPa (ou 17 Kgf/cm <sup>2</sup> )

				Média da Amostra ≥ 2,0 MPa (ou 20 Kgf/cm <sup>2</sup> )
Teste de Absorção de Água	Percentual de água absorvido pela amostra	ABNT (2012) e ABNT (2013b)	- NBR 8491 - NBR 8492	Individual ≤ 22 % Média da Amostra ≤ 20,0%
Análise Dimensional	Comprimento / Largura / Altura (mm)	ABNT (2012)	- NBR 8492	± 1 mm > 1mm p/ até 20% do lote
Utilização do Produto	Idade	ABNT (2012)	- NBR 8491	≥ 14 dias

**Fonte: Elaborado pelo autor**

A fundamentação teórica tem sido de fundamental importância em gerar os principais construtos, suas variáveis e respectivos parâmetros de referência. O produto tido por uma mistura de solo, cimento e água vai além de três componentes. Conhecer o processo de produção convencional baseado na metodologia teórica atual das normas vigentes prepara a pesquisa para um melhor rendimento do estudo de caso.

### 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Neste capítulo será apresentada a caracterização metodológica da pesquisa, descrevendo as suas etapas, procedimentos adotados na coleta e análise de dados e a unidade de análise.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO METODOLÓGICA DA PESQUISA

Quanto à sua natureza, essa pesquisa é considerada aplicada, gerando conhecimento com finalidade prática, pois visa validar um novo método de produção de tijolos solo-cimento que agrega melhorias no processo de cura e embalagem. Dada a importância de explorar o tema proposto, busca-se criar familiaridade em relação aos fenômenos ou fatos, portanto, os objetivos dessa pesquisa têm a incumbência exploratória (GIL, 2010). Consideram Marconi e Lakatos (2010), que a pesquisa exploratória possibilita o aprofundamento do pesquisador com o estudo em questão. É o contexto desse estudo, que enfoca a validação exploratória de um *framework* de processo inovador, a partir de um estudo de caso.

Assim, o estudo de caso é o procedimento metodológico adotado para a pesquisa, buscando entender melhor a natureza das variáveis, empregando-se técnicas de coleta de dados primários e secundários para conjecturar as pretensões sobre o tema. O estudo de caso “é a análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), com o uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e presença da interação entre pesquisador e objeto de pesquisa” (CAUCHICK MIGUEL, 2012, p. 66). Dadas suas características de abordagem, assume, no segundo momento, os processos do novo método de produção que é avaliado com testes de amostras, oriundas do mesmo método, e analisadas com base nos parâmetros das normas técnicas pertinentes, dando assim, uma base para elaboração de um *framework* do novo processo. A unidade de análise para o estudo foi uma fábrica de tijolos situada na cidade de Palmas, no estado do Paraná.

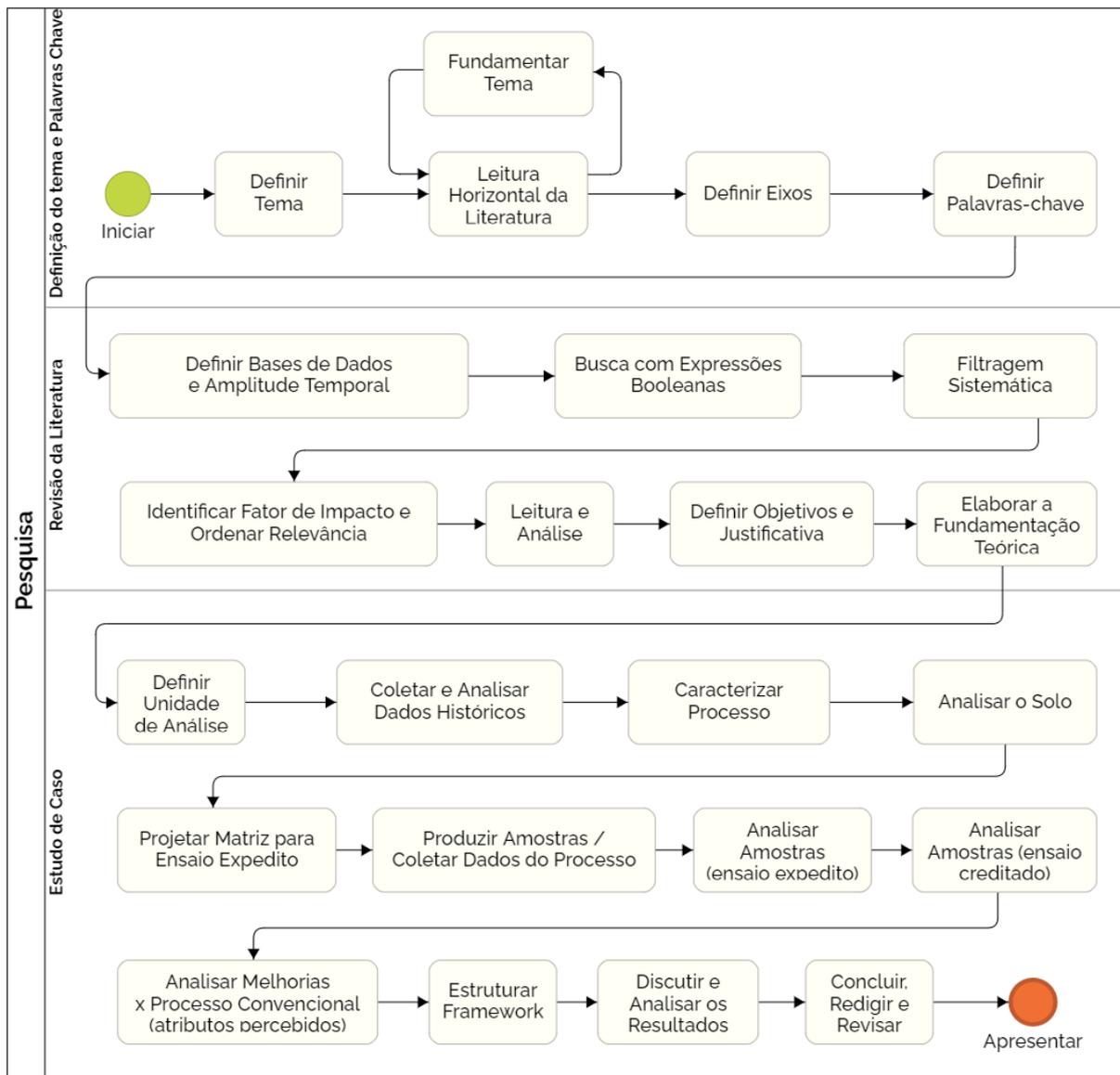
Ainda que a investigação se mostre exploratória, o relato de pesquisa assume características descritivas, buscando-se caracterizar as inovações no processo de produção de tijolos solo-cimento e avaliar os resultados após sua implementação.

Para tanto, desenvolve-se um estudo de abordagem combinada. São coletados e analisados tanto dados quantitativos, abarcando descrições e argumentações sobre o processo e as técnicas, quanto também dados qualitativos, envolvendo relatórios, gráficos e avaliações. Esses parâmetros já foram determinados anteriormente pela ciência e discutidos na seção 2.1.2, quando Eccles e Serafeim (2015), instigam em quantificar gastos com energia, água, resíduos, inclusive as margens financeiras de desempenho, assim, o mesmo foi sendo empregado no transcorrer da pesquisa. Portanto, a adoção de uma abordagem combinada permite responder melhor aos objetivos de pesquisa, proporcionando uma visão mais ampla e completa do fenômeno (CAUCHICK MIGUEL, 2012).

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

No primeiro momento da investigação, partindo de uma temática inicial de interesse do pesquisador, procedeu-se uma revisão sistemática da literatura, enfocando inovação e sustentabilidade relacionados à fabricação de tijolos ecológicos. Depois da apropriação sobre esses conteúdos, foi feito o planejamento da sequência dos procedimentos de pesquisa, estruturada em três fases: definição do tema de pesquisa e palavras-chave; revisão sistemática da literatura; e estudo de caso. É o que mostra a Figura 6, na qual são indicadas as etapas envolvidas em cada fase.

Figura 6 - Etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborada pelo Autor

Todas as etapas da pesquisa contidas na Figura 6 serão detalhadas nos próximos itens, com um capítulo e exclusivo para o estudo de caso.

### 3.2.1 Definição do Tema e Palavras-Chave

A definição preliminar do tema de pesquisa se deu a partir do interesse do pesquisador. Entre diversos temas avaliados, a inovação no processo de fabricação de tijolos solo-cimento foi o de maior grau de motivação. Após pré-definido o tema,

foram analisados os melhores procedimentos de pesquisa, orientados principalmente Creswell (2007) e por Cauchick Miguel (2012), afim de elucidar os aspectos da natureza metodológica para conduzir o estudo. Realizou-se, inicialmente, a leitura horizontal de artigos para conhecimento e fundamentação, dada a partir de buscas não sistemáticas nas bases de artigos científicos, por meio do Portal de Periódicos CAPES, que permitiu algum aprofundamento e delimitação para as estratégias de pesquisa.

O tema tijolo ecológico, delimitou a pesquisa com um foco específico. Definiu-se três eixos, e a leitura horizontal da literatura permitiu a identificação de palavras-chave alinhadas e agrupadas com cada eixo. Assim, foram definidos os seguintes eixos e suas respectivas palavras-chaves: No eixo Sustentabilidade: Sustentabilidade, Produção Verde, Operações Sustentáveis e Desenvolvimento Sustentável. No eixo Inovação: Inovação, Manual de Oslo, Teoria da Difusão da Inovação, Absorção de Água e Cura. Por fim, no eixo Tijolo Ecológico: Tijolos Ecológicos, Tijolos Eco-amigos, Tijolos Verdes e Solo-cimento.

### 3.2.2 Revisão da Literatura

Nesta seção são apresentadas as definições e estratégias adotadas para proceder à revisão sistemática da literatura, que se tornou base para a construção da fundamentação teórica da pesquisa.

Foram utilizados os bancos de dados das bases Scopus e *Web of Science*, por serem reconhecidas pelo grande acervo multidisciplinar e por indexarem periódicos tanto da área de exatas quanto de ciências sociais. O gerenciamento e a organização dos artigos foram assessorados pelo *software* Mendeley®.

Foram considerados somente documentos publicados até junho de 2020 ou disponíveis nas plataformas de busca até essa data, porém, sem limitação temporal retroativa devido a reduzida quantidade de pesquisas relacionadas ao tema.

Os três eixos, e suas respectivas palavras-chaves, foram relacionados com expressões booleanas, resultando em oitenta combinações, conforme mostra o Quadro 2 as configurações das *strings* de busca, usando o OR (ou) entre as palavras-chave e o AND (e) relacionando os eixos.

**Quadro 2 - Configuração das *Strings* de Busca nas Bases de Dados**

<b>Eixos</b>	<b>Combinações de expressões utilizadas nas buscas</b>
Sustentabilidade	<i>TITLE-ABS-KEY ("Sustainability") OR TITLE-ABS-KEY ("Green Production") OR TITLE-ABS-KEY ("Sustainable Operations") OR TITLE-ABS-KEY ("Sustainable Development") AND</i>
Inovação	<i>TITLE-ABS-KEY ("Innovation") OR TITLE-ABS-KEY ("Oslo manual") OR TITLE-ABS-KEY ("Theory of Diffusion of Innovation") OR TITLE-ABS-KEY ("Water Absorption") OR TITLE-ABS-KEY ("Curing") AND</i>
Tijolo Ecológico	<i>TITLE-ABS-KEY ("Ecological bricks") OR TITLE-ABS-KEY ("Ecofriendly bricks") OR TITLE-ABS-KEY ("Green bricks") OR TITLE-ABS-KEY ("Soil-cement")</i>

**Fonte: Elaborado pelo Autor**

Crerios de exclusão foram definidos para filtrar os documentos. Não foi atentado para relevância de impacto ou nível de influência dos documentos, nem restrições de língua ou sequer qualquer tipologia de documento. Atribuiu-se interesse somente para artigos, em materiais alinhados com o objetivo da pesquisa (métodos de produção de tijolos ecológicos, cura e embalagem) e ignorando capítulos de livros e documentos de conferências, mantendo o foco em artigos publicados em periódicos qualificados.

Na base Scopus o resultado de busca do eixo Tijolo Ecológico foi de 4.173 documentos, número esse que nivelou os resultados dos demais eixos, sendo que Sustentabilidade prospectou 356.502 documentos e Inovação 579.231 documentos. Ao atribuir as expressões booleanas entre os eixos, totalizou 48 documentos.

Em um segundo momento repetindo a busca dos eixos com suas respectivas palavras-chave na base *Web of Science*. Comparou-se os resultados entre as bases e prevaleceu com maior acervo os resultantes da base Scopus. Excluindo os documentos duplicados entre as bases e os não alinhados ao tema, somou-se ao portfólio um artigo da base *Web of Science*.

Na leitura dos títulos, 49 artigos foram selecionados por estarem alinhados com o tema da pesquisa. Com a leitura dos resumos encontrou-se os artigos com conteúdo alinhado ao tema pesquisado. Por fim, compondo o portfólio apenas com artigos e documentos completos disponíveis, obteve-se o total de 23 títulos alinhados com os objetivos da pesquisa.

### 3.2.3 Pesquisa Bibliográfica

Em seguida procedeu-se com a leitura integral dos textos e todos foram selecionados para compor o portfólio bibliográfico onde para cada um, notas foram atribuídas para a fórmula do fator de ponderação. Ao mesmo modo que resenhas sobre cada artigo eram elaboradas, em paralelo, as citações pertinentes foram grifadas gerando o conteúdo referenciado nesse documento.

Formou-se, portanto, um acervo de referência para esta dissertação com material diretamente relacionado ao tema de pesquisa.

Para ordenar o conjunto de artigos conforme sua relevância, esses foram elencados em ordem decrescente, com base na equação *InOrdinatio* (PAGANI, KOVALESKI e RESENDE, 2015), dada por:

$$InOrdinatio = \left( \frac{IF}{1000} \right) + \alpha \times |10 - (ResearchYear - PublishYear)| + (\sum Ci)$$

Onde:

IF = Fator de Impacto (nota de avaliação do periódico);

$\alpha$  = Fator de Ponderação (nota de 1 a 10 atribuída pelo pesquisador);

*ResearchYear* = Ano da pesquisa bibliográfica;

*PublishYear* = Ano de publicação do artigo; e

$\sum Ci$  = Número de citações.

De acordo com a equação *InOrdinatio* atribuída a Pagani, Kovalski e Resende (2015), para normalizar com a valorização dos demais critérios, o IF é dividido por mil. No fator de ponderação, quanto maior a nota, mais relevância tem aquele artigo. Como a pesquisa trata de um tema emergente, o método se aplica, trazendo relevância a artigos recentes e não apenas àqueles com maior número de citações.

O resultado de classificação obtido, desprezando a publicação das notas individuais atribuídas no fator de ponderação, está expresso na Tabela 1.

Tabela 1 – Portfolio Bibliográfico Obtido com a Revisão Sistemática da Literatura

InOrdinatio	Autores	Revista	Ano	FI (SJR*)	Citações
99,80	(OTI; KINUTHIA; BAI, 2009)	Engineering Geology	2009	2,070	107
85,00	(DAHMEN <i>et al.</i> , 2018)	Journal of Cleaner Production	2018	1,089	13
81,00	(ARRIETA BALDOVINO <i>et al.</i> , 2020)	Journal of Materials in Civil Engineering	2020	1,040	1
75,00	(REIS; RIBEIRO; REIS, 2020)	Bulletin of Engineering Geology and the Environment	2020	0,770	0
70,00	(JAVED <i>et al.</i> , 2020)	Journal of Cleaner Production	2020	1,089	0
55,80	(KALIPCILAR <i>et al.</i> , 2016)	Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability	2016	0,360	3
53,00	(GE <i>et al.</i> , 2018)	Construction and Building Materials	2018	1,490	5
52,10	(LOYA; RAWANI, 2017)	International Journal of Innovation and Sustainable Development	2017	0,280	1
50,00	(RIYAD; SHOAB, 2020)	Australian Journal of Civil Engineering	2020	0,530	0
46,90	(TAHA <i>et al.</i> , 2017)	Minerals Engineering	2017	0,910	35
45,20	Kamei T., Ahmed A., Ugai K.,	Soils and Foundations	2013	1,040	44
44,00	(YU <i>et al.</i> , 2015)	Construction and Building Materials	2015	1,490	12
42,40	(SIQUEIRA; HOLANDA, 2013)	Journal of Environmental Management	2013	1,320	25
41,00	(LEONEL <i>et al.</i> , 2017)	Ceramica	2017	0,200	6
35,00	(BONET <i>et al.</i> , 2018)	Materials	2018	0,650	3
35,00	(JAYASINGHE; FONSEKA; ABEYGUNAWARDHENE, 2016)	Construction and Building Materials	2016	1,490	14
35,00	(CONSOLI <i>et al.</i> , 2018)	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	2018	2,250	11
35,00	(RASHID <i>et al.</i> , 2017)	Geotechnical and Geological Engineering	2017	0,540	21
29,50	(UKWATTA; MOHAJERANI, 2017)	Journal of Materials in Civil Engineering	2017	1,040	12
19,50	(PORTER; DHAMI; MUKHERJEE, 2017)	Cement and Concrete Composites	2017	2,680	9
9,00	(VU <i>et al.</i> , 2018)	International Journal of the Society of Material Engineering for Resources	2018	0,110	1
6,00	(LIMA <i>et al.</i> , 2016)	Electronic Journal of Geotechnical Engineering	2016	0,120	0
4,50	(JIA-YING; XIE, 2015)	Advances in Cement Research	2015	0,700	2

Fonte: Elaborada pelo autor

Com as normas técnicas incorporadas ao portfólio de artigos, foi possível ter o embasamento considerado pertinente para a pesquisa. Este portfólio se mostrou adequado ao tema pesquisado e colaborou para dar sequência com os conceitos e a fundamentação teórica dos eixos abordados no Capítulo 2.

Com base no portfólio, definiu-se as etapas dos objetivos, justificativa, os principais construtos (classificação do solo, cimento, compactação, cura/molha, armazenamento/embalagem, teste de resistência à compressão, teste de absorção de água, análise dimensional e idade de utilização do produto), parâmetros de qualidade para produção de tijolos solo-cimento e as variáveis de análise da pesquisa.

Com a estrutura teórica, e amparado pela metodologia científica, no próximo capítulo o trabalho aborda o estudo de caso, ao final do qual os critérios de análise são avaliados individualmente, conforme o atributo condizente. Assim obteve-se base para o novo *framework*. Um *framework* é utilizado para contextualizar temas complexos em formas que possam ser estudadas e analisadas, visando resolver uma família de problemas em um conjunto de classes (FAYAD, 1999). De acordo com Mezzomo (2015), um *framework* tem a finalidade de servir como um processo padrão a ser instanciado para as organizações com interesse na implementação da avaliação e melhoria do processo organizacional. Por fim, a avaliação quantitativa ocorre com base nos parâmetros de referência das normas e as avaliações qualitativas com percepções subjetivas do próprio pesquisador em acordo com dados obtidos na pesquisa.

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a realização do estudo de caso. Segundo Cauchick Miguel (2012), os principais benefícios da condução de um estudo são a possibilidade do desenvolvimento de novas teorias e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos. Em particular ao estudo de caso quando exploratório tem a investigação desenvolvendo ideias, ou até mesmo com a aplicação de testes para corroborar uma teoria. A sessão 4.1 apresenta a unidade de análise. A sessão 4.2 descreve a metodologia de coleta e análise dos dados. De acordo com Mattos *et al.* (2017), as ferramentas mais comuns para a coleta de dados são qualitativas, com entrevistas, análise documental e reuniões com as empresas. A sessão 4.3 mostra a caracterização do processo de fabricação de tijolos solo-cimento no método proposto. A sessão 4.4 realiza a classificação e análise do solo. Na sessão 4.5 aborda-se o projeto de um molde para aferição das amostras em ensaio expedito. Na fase 4.6 ilustra o modo como foram produzidas essas amostras nesse método. Depois disso são abordados os ensaios dos corpos de prova em um método expedito na fase 4.7 e os resultados dos testes de laboratório na fase 4.8.

### 4.1 UNIDADE DE ANÁLISE

Amparado pela literatura e atendendo a desejado rigor metodológico, existe a possibilidade de se constatar, por meio de evidências em uma unidade de análise adequada, se o novo método de embalagem direta e cura sem molha na produção de tijolos solo-cimento é ou não mais eficaz em relação ao método convencional. Para isso, foi necessário caracterizar o novo método através de um estudo de caso em uma empresa brasileira, localizada na cidade de Palmas, estado do Paraná. Trata-se de uma fábrica de tijolos ecológicos que atua no ramo desde 2005, com área fabril de 320m<sup>2</sup>.

A empresa começou com integrantes da família e com máquinas convencionais do mercado. Depois do desenvolvimento e da fabricação das próprias máquinas, hoje, comercializa máquinas para produção de tijolos solo-cimento em larga escala, considerando a nova forma de produção com embalagem direta e a cura sem molha,

como resultados do autodenominado Método Alroma. Além da assessoria completa de utilização dos equipamentos, conta com um serviço de modulação de projetos para utilização dos tijolos produzidos, amparando os fabricantes que iniciam no ramo. O serviço é estendido com a entrega presencial do maquinário, dando aos clientes e colaboradores o treinamento de utilização dos equipamentos. Além de estar presente em todas as regiões do Brasil, possui clientes na Guiana Francesa, Portugal, Sudão, Peru e Uruguai.

Nessa unidade de análise encontra-se um conjunto modelo que produz no método Alroma, não convencional, por isso, definida também como unidade de análise, de caso único, dada a finalidade exploratória. A unidade também facilitou o acesso em campo, como fonte de acesso aos documentos e dados relativos a forma de produção antiga, denominada de método convencional. Nessa mesma unidade de análise foram produzidas as amostras, visando registrar tanto os diferenciais do novo método de embalagem e cura (redução do tempo de produção, economia de água, energia, mão de obra), quanto os resultados da qualidade aferida nas amostras dos tijolos ecológicos. Gerou-se assim, material e conteúdo que devem sustentar a estruturação do novo *framework* em relação ao processo convencional.

A escolha dessa unidade deve-se particularmente ao fato de ser a primeira que começou a utilizar o novo processo em larga escala, por ter acesso a maior documentação com a possibilidade de observações *in loco*, acesso aos proprietários para entrevistas e documentos, em suma, para a análise de uma forma geral.

## 4.2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Aqui são abordados os procedimentos e técnicas de coleta e análise de dados sobre a unidade de análise do estudo de caso. A coleta de dados foi realizada de três formas: A pesquisa documental em arquivos da empresa, planilhas, relatórios de consumo e notas fiscais. Entrevistas semiestruturadas com perguntas abertas aos proprietários e idealizadores do novo método proposto através de gravação e posterior transcrição. Também, foram levantados dados com os novos laudos técnicos, através dos ensaios das amostras de tijolos produzidas.

Para facilitar a compreensão, o Quadro 3 apresenta um resumo dos métodos, procedimentos e estratégias de coleta e análise utilizados nesta pesquisa, bem como as formas para o levantamento de dados que nortearam e conduziram às informações.

**Quadro 3 - Formas da Coleta dos Dados da Pesquisa**

	Técnicas de Pesquisa		
	Documental	Entrevistas Semiestruturadas	Laudos Técnicos
<b>Levantamento / coleta</b>	Documentos da Empresa.	Entrevista semiestruturada com os idealizadores do processo.	Arquivos da Empresa.
	Normas técnicas.	Perguntas abertas.	Ensaio de Laboratório.
<b>Tipo do Material</b>	Normas, leis, manuais de utilização, notas fiscais e relatórios de consumo.	Áudio.	Laudos de amostras produzidas no novo método.
<b>Instrumento / Ferramenta</b>	Documentos Eletrônicos: Normas, leis, manuais de utilização; Documentos Físicos: notas fiscais e relatórios de consumo.	Gravação por aplicativo de celular.	- Prensa para Ensaio de Corpo de Prova e outras ferramentas de medição (trena, cronômetro, medidor de umidade e balança). - Laboratórios Terceirizados.
<b>Registro dos Dados</b>	Transcrição ou citação referenciada.	Transcrição e link para acesso on-line dos áudios originais.	Planilhas, gráficos e laudos.
<b>Análise dos Dados</b>	Categorização de informações sobre o processo e o produto, tanto na forma tradicional quanto na inovadora.	Identificação, categorização e detalhamento de etapas do processo inovador.	Comparação com os parâmetros das normas e citação referenciada.

**Fonte: Elaborado pelo Autor**

A empresa não autorizou a divulgação de alguns documentos de controle interno diretamente no apêndice, como contas de energia, notas fiscais de entrada de insumos e laudos antigos, o que não chegou a interferir diretamente na análise dos dados por falta de citação ou no tema principal desse estudo.

Essa etapa foi considerada finalizada com a saturação de material, trazendo muitas vezes mais da mesma informação. Tanto os dados documentais como relatos dos entrevistados foram sendo utilizados no transcorrer do estudo, de acordo com a etapa em evidência ou no referido contexto. No próximo item é informado com mais ênfase a maneira como os dados foram coletados.

#### 4.2.1 Entrevistas e Levantamento Documental

Com uma investigação retrospectiva, foram feitas buscas coletando dados históricos. Em um segundo momento a investigação tomou o caminho longitudinal investigando o presente superando as limitações históricas gerando dados atuais (CAUCHICK MIGUEL, 2012).

Foi conduzida a coleta de dados tendo em evidência as principais variáveis do processo voltadas ao tema do estudo. Com a ciência de que é exigido a molha do

produto por sete dias e é permitido o uso somente após o décimo quarto dia da data de fabricação (NBR 10833 - ABTN, 2013a), a coleta de dados documental, quantitativa, foi realizada a partir de registros e relatórios técnicos na empresa estudada, com análise de documentos, notas fiscais de entrada de mercadorias, controles de estoque, consumos de energia e água, número de empregados, entre outros dados relevantes para o melhor entendimento e parametrização do processo convencional, anterior à intervenção inovadora.

Com uma abordagem qualitativa de informações, foi possível gerar um entendimento amplo das tecnologias do processo antes de agregar informações primárias, de cunho prático. Para isso, mais dados foram levantados com entrevistas presenciais com o fundador e com o gerente da produção, mas conversas não registradas com outras pessoas que fazem parte do processo, direta e indiretamente, também auxiliaram na formação do conteúdo. Cauchick Miguel (2012), incentivam as pesquisas em operações examinando dados empíricos, pois o estudo nessa área, de certa maneira, é uma ciência social, e deve-se estudar os processos com o objetivo de desenvolver teorias para entendê-los.

Com entrevistas semiestruturadas, a partir do roteiro informado no Apêndice X, visou-se obter detalhes de cada etapa do processo, de cada área de especialidade dos entrevistados e gerando conteúdo pertinente ao tema citando-os na análise. Os entrevistados foram nomeados de acordo com o Quadro 4.

**Quadro 4 – Classificação dos Entrevistados**

<b>Entidade</b>	<b>Cargo</b>	<b>Funções</b>
Entrevistado 1	Sócio Gerente	Gerente de Produção, Projetos e Marketing
Entrevistado 2	Sócio Fundador	Engenharia, P&D e Supervisão de Produção

**Fonte: Dados da Pesquisa**

De acordo com Bardin (2016), a análise de conteúdo é o conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

Como parâmetro de referência, obteve-se informações do processo convencional anterior, como a resistência à compressão e a capacidade de absorção

de água dos tijolos, relatos do consumo médio de água utilizados para cura, o tempo médio de preparo de cada batelada, o tempo de cura, a idade para utilização do tijolo, entre outras informações pertinentes no decorrer da pesquisa. Dados esses utilizados para confrontar com os dados atuais oriundos da produção de amostras na própria empresa com o método tema do estudo.

A partir da Teoria dos Atributos Percebidos (ROGERS, 2003), atributos considerados pertinentes sobre o processo ou produto, do chão de fábrica à gerência, fizeram parte do roteiro de entrevista, visando compor um quadro qualitativo de informações, capaz de retratar vantagens e desvantagens do novo método sobre a fabricação convencional. Assim, a Teoria dos Atributos Percebidos mostra-se como uma forma de análise, ao avaliar as melhorias no processo de fabricação dos tijolos do novo método proposto.

#### 4.2.2 Análise de Amostras e Laudos Técnicos

Nessa etapa, o estudo de caso lançou mão também da técnica de observação, que utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade. Consiste em ver, ouvir e examinar fatos e fenômenos de forma assistemática. Essa observação não estruturada, também denominada espontânea, informal, ordinária, simples, livre, ocasional e acidental, consiste em recolher e registrar os fatos da realidade sem que o pesquisador utilize meios técnicos especiais ou necessite fazer perguntas diretas (MARCONI e LAKATOS, 2010).

Estar em contato direto na empresa relaciona os meios da pesquisa de campo, com o objetivo de conseguir informações e/ou conhecimentos acerca de um problema, para o qual se procura uma resposta, ou de uma hipótese que se queira comprovar, ou ainda, de descobrir novos fenômenos ou as relações entre eles (MARCONI e LAKATOS, 2010). Como seria a paletização direta? Como a cura se comportaria sem adição de água? Dessa maneira, foi possível presenciar as etapas do processo e analisar detalhes que documentos não descreveriam.

As amostras produzidas de acordo com o novo método proposto foram testadas com ensaio para a determinação da resistência à compressão aos 7, 14, 21 e 28 dias de cura. Nessa etapa os testes ocorreram por meio de compactação de corpo de prova seco (ignorando os procedimentos das normas à título de curiosidade do pesquisador)

e saturado, com amostras analisadas em laboratório de materiais em uma indústria de concreto na mesma cidade, de mais fácil acesso. Para isso, foi necessário criar uma matriz de prensagem específica, para um novo formato de tijolo, que fosse possível ser avaliado em método expedito. Com menor acurácia estes dados serviram de parâmetro de referência para análise comparativa ao laudo formal elaborado por laboratório com certificação do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), fez os ensaios em corpo mole saturado também, conforme rege a NBR 8492 (ABNT, 2012).

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

O método de produção de tijolos solo-cimento no método de embalagem direta e cura sem molha se caracteriza por alto volume, com grande repetitividade e baixa variedade de produtos na linha de fabricação, propiciando peças padronizadas. As principais peças produzidas são o tijolo simples e o tijolo canaleta. As seções que seguem abordam a sequência de fabricação, desde a extração da matéria-prima até a embalagem e estoque do produto. No item seguinte é abordado a compra do solo e do cimento como início do processo.

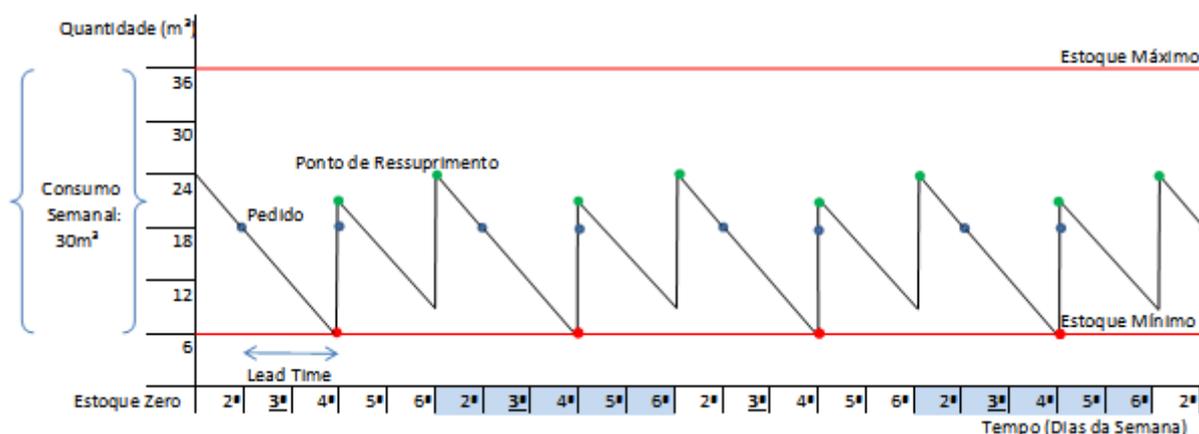
#### 4.3.1 Lote Econômico de Compra para o Solo e o Cimento

Conforme Slack (2009), no Lote Econômico de Compra (LEC), os níveis de estoque de matéria-prima são considerados a partir da capacidade produtiva. Os dados são analisados e calcula-se a quantidade de matéria-prima a ser solicitada no momento que indica o mais baixo nível de estoque permitido.

Neste estudo de caso, a linha de produção com a prensa automática de compactação tem ciclos ininterruptos de nove segundos e meio, o que propicia uma produção média de 3.000 unidades por dia, em uma jornada de trabalho de oito horas, já descontado os tempos de *setup* das máquinas. Atualmente, a empresa produz o tijolo nas medidas 12,5x25x7cm (LxCxA) com peso aproximado de 3,3 kg por unidade em uma proporção de 1:8, sendo uma parte de cimento para 8 partes de solo.

Segundo o Entrevistado 1, trabalhar preferencialmente com material recém extraído impacta diretamente na qualidade e resistência do produto final. Portanto, uma atenção especial deve ser dada na compra do solo, com abastecimentos semanais em reposição constante da matéria-prima, conforme mostra o Gráfico 2.

**Gráfico 2 - Lote Econômico de Compra: Solo**



**Fonte: Restelli et al. (2021b)**

Apurados os dados, pode-se mensurar a quantidade mensal consumida de matéria-prima e de unidades produzidas. Ao se considerar uma produção de 40h semanais, em um mês de 20 dias úteis, estima-se uma produção de 60 mil unidades. O tempo do pedido da matéria-prima (solo) à entrega, para cada carga, é de 3 dias. Assim, o estoque mínimo de 6m<sup>3</sup> é o mínimo aceito para evitar falta de matéria-prima.

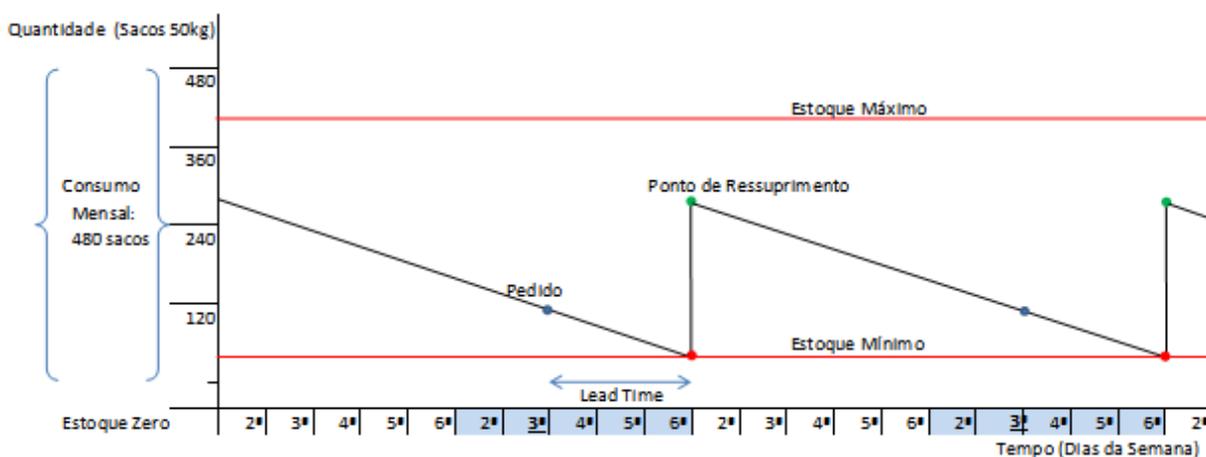
O solo arenoso é proveniente de uma jazida de extração de areia da cidade de União da Vitória – Paraná, cujo fornecedor está há 132 km da sede da fábrica de tijolos.

O solo arenoso é transportado por caminhão caçamba de propriedade da própria empresa de extração. Esse desloca-se exclusivamente carregado com 15m<sup>3</sup> de material até a sede, em Palmas – Paraná.

O cimento usado pela empresa é do tipo Portland CPV-ARI, que conforme PEREIRA (2010), tem a característica de alta resistência inicial, e atinge 66% de sua resistência no terceiro dia. Segundo a empresa, mesmo o cimento tendo validade de noventa dias, quanto mais recente sua data de fabricação, melhores os resultados obtidos no produto final. Por isso, sugere-se lotes de compras em quantidades

moderadas e realizados com maior frequência conforme a Gráfico 3. Para o LEC do cimento, o tempo do pedido à entrega, para cada carga, é de 3 dias úteis.

**Gráfico 3 - Lote Econômico de Compra: Cimento**



Fonte: Restelli et al. (2021b)

Nesse caso, não foi considerada a quantidade de consumo como referência métrica para o ponto de ressuprimento, mas sim a divisão do consumo total para compras quinzenais. Isso decorre do conhecimento empírico da empresa estudada sobre a vantagem do uso de cimento de produção recente, como mencionado anteriormente. Transportado através de caminhão *truck*, 240 sacas de cimento são deslocadas de Curitiba-PR até a sede da fábrica de tijolos.

#### 4.3.2 Arranjo Físico de Produção

Na unidade de análise estudada, foi constatado um arranjo físico por produto, também conhecido como produção em linha, em que o solo e o cimento passam pela sequência de processos para os quais as máquinas e equipamentos foram arranjados fisicamente. A Figura 7 ilustra uma perspectiva do arranjo físico da empresa.

**Figura 7 - Arranjo Físico**



Fonte: Adaptado pelo autor de Alroma (2021)

É uma linha produtiva, com dois funcionários executando as atividades de todo o setor. As máquinas ficam dispostas em um ambiente de aproximadamente 60m<sup>2</sup>, com duas máquinas. Uma máquina para o setor de mistura chamada de multiprocessador, modelo de 800 litros marca Alroma ano 2021, e outra para o setor de prensagem, chamada de prensa automática também da marca Alroma sendo o único modelo da marca no ano 2021.

#### 4.3.3 Processo de Produção e Consumo de Recursos

O processo produtivo se enquadra na produção em lotes ou bateladas, com os insumos passando pela mesma sequência de máquinas e equipamentos, resultando em peças padronizadas. No processo, o preparo da matéria-prima começa pela máquina denominada de multiprocessador. A Figura 8 ilustra o multiprocessador sendo essa uma das patentes da empresa estudada.

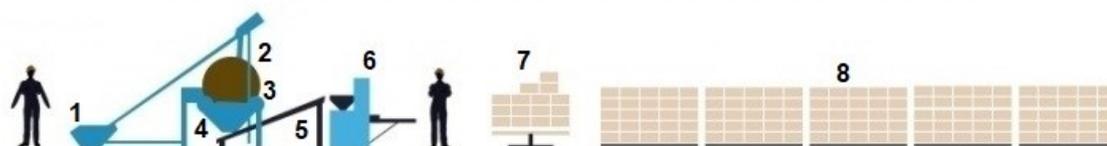
**Figura 8 - Multiprocessador**



Fonte: Dados da Pesquisa

O multiprocessador dosa a matéria-prima (solo e cimento), tritura, mistura, peneira e armazena. A Figura 9 demonstra a seqüência do processo, identificando-se pontualmente a cada etapa da linha.

**Figura 9 - Sequência de Produção Método Alroma**



Fonte: Alroma (2021)

O solo, na condição natural de umidade da extração, é alocado na concha dosadora (1) do multiprocessador. Esse compartimento possui a dimensão para dosagem de 400 litros. O cimento é adicionado sobre o solo.

No multiprocessador, um dispositivo motoredutor conduz a concha dosadora por meio de trilhos até a parte superior do equipamento, carregando o cilindro misturador (2), ilustrado na Figura 10, que está posicionado na parte superior do equipamento. Abastecido, o cilindro passa a girar lentamente, enquanto na parte interna encontra-se um eixo rotor que gira em rotação elevada, triturando e misturando o solo rapidamente com o cimento de maneira a proporcionar uma mistura homogênea e distribuindo o cimento uniformemente no solo hidratado.

**Figura 10 - Cilindro com Eixo Rotor**



Fonte: Alroma (2021)

A transferência do material do cilindro (2) para o estágio de peneiramento (3) acontece por gravidade, aproveitando o espaço logo abaixo do cilindro, que despeja o solo e passa pela peneira. Com movimentos vibratórios na vertical e de vai-e-vem na horizontal, o material chega ao silo de armazenagem (4) totalmente isolado, que evita a evaporação da umidade. A esteira transportadora (5) conduz o material para a prensa automática (6), que compacta o material com doze toneladas de pressão. A prensa opera por controle computadorizado, em ciclos de 9,5 segundos cada unidade, necessitando de um operador para a retirada dos tijolos.

Um compressor de ar modelo 10 pés/150 litros é necessário para a limpeza de resíduos nos tijolos quando retirados da prensa. Os tijolos então são conduzidos e posicionados no palete sobre a mesa rotatória da marca Alroma (7) com a altura ergonômica apropriada.

O palete completo de tijolos é embalado, tanto nas laterais quanto no topo, enclausurando os tijolos. Por fim o palete é acomodado em um amplo espaço (8) para a cura. Ficam em repouso por três dias ao abrigo do sol. Segundo a empresa estudada, o alto grau de umidade da mistura é retido no palete embalado, o que mantém a peça hidratada de maneira suficiente para cura do cimento. Tecnicamente, o cimento demora 28 dias para a cura total (PEREIRA, 2010), porém, segundo a empresa, com três dias os tijolos já estão com resistência suficiente para transporte sem avarias.

Constatou-se que o ciclo de fabricação do produto se encerra com o carregamento dos tijolos pela empilhadeira no caminhão de transporte.

#### 4.3.4 Tempos das Etapas do Processo e Produtividade

Conforme estudo prévio, realizado por Restelli *et al.* (2021a), os tempos medidos para a fabricação constam na Tabela 2.

**Tabela 2 – Tempos das Etapas do Processo**

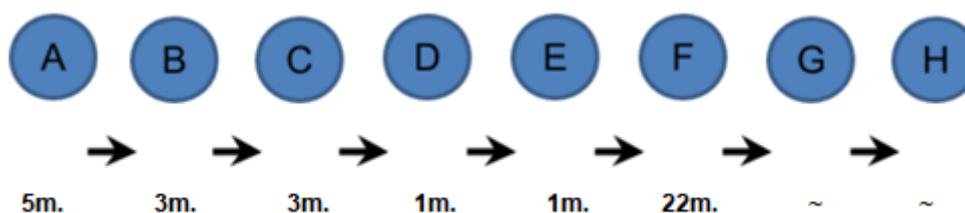
<b>Descrição da Atividade</b>	<b>Tempo (min.)</b>
Elemento A – Dosagem c/ concha carregadeira	5
Elemento B – Mistura	3
Elemento C – Peneiramento	3
Elemento D – Silo de Armazenamento	1

Elemento E – Esteira Transportadora	1
Elemento F – Prensa de Compactação / Moldagem	22
Elemento G – Mesas de Acomodação	~
Elemento H – Cura/Estoque	~
<b>Tempo total por batelada/prensagem com Setup</b>	<b>35</b>
<b>Tempo total por batelada sem Setup</b>	<b>22</b>

Fonte: Dados da Pesquisa

Para auxiliar a mensurar os tempos do processo foi utilizado o diagrama de precedência. O diagrama de precedência disposto na Figura 11 é uma técnica de balanceamento em linha que ilustra uma representação do ordenamento dos elementos que compõem o conteúdo do trabalho total do produto ou serviço (SLACK, 2009).

Figura 11 - Diagrama de Precedência



Fonte: Restelli *et al.* (2021a)

Cada elemento é representado por um círculo, que são conectados por setas que significam o ordenamento dos elementos.

Com todos os compartimentos vazios, o total de tempo de percurso da matéria-prima, desde a entrada na dosagem até sair o último tijolo daquela batelada, são 35 minutos. Ignorando o tempo de configuração e com todos os compartimentos já abastecidos, o ciclo se torna intermitente, ou seja, assim que a concha dosadora é esvaziada no cilindro, imediatamente ela passa a ser reabastecida, o que acontece com os demais compartimentos, até chegar na prensa. Portanto, a prensa, por consumir 3,3kg de material a cada 9,5 segundos é o elemento que puxa a produção, configurando o tempo total das bateladas.

O ciclo total considerado, portanto, é de 22 minutos por batelada, sem *setup*, denominado ciclo constante. Ao dia, são processadas em média 22 bateladas, em

cada batelada são obtidos entre 135 e 138 tijolos, o que resulta na produção média de 3 mil unidades por dia.

Não foi possível mensurar, com dados primários, o tempo de produção do processo convencional. Apesar disso, os relatos das entrevistas apontam um processo demasiadamente custoso, tanto pelo trabalho quanto pelo tempo despendido na fase de preparação do solo. Segundo o Entrevistado 1, cada carga de solo era espalhada em piso com o material exposto ao sol, revolvendo inúmeras vezes durante o dia com enxadas e revolvedores do tipo arado, no intuito de evaporar a água. Depois disso, o solo passava por triturador, na sequência era peneirado, para só então seguir ao setor de mistura com cimento. Relata o Entrevistado 1 que o trabalho demandava mão de obra e tempo excessivos. Nas estações chuvosas era impossível produzir com regularidade. Nos primeiros anos da empresa, de 2005 a 2007 a média de produção diária era de 900 a 1.000 tijolos por dia.

#### 4.3.5 Consumo de Água

Segundo a empresa, compactar as peças com o grau adequado de umidade possibilita atingir melhores níveis de qualidade do produto final. Como o solo já vem da jazida naturalmente com umidade entre 10% a 15%, os ajustes da umidade ideal variam com a adição de 0 a 5 litros de água por batelada, quando necessário, corrigindo no cilindro manualmente até o ponto de prensagem.

A empresa não tem registro de quanto consome de água, por usar apenas água coletada das chuvas e fontes naturais. Estima-se que, ao usar o máximo necessário de 5 litros por batelada, em 7,32 bateladas para mil tijolos, resultaria no consumo de 36,6 litros de água para produção de mil tijolos 12,5x25x7 (LxCxA), no método atual.

Por trabalhar com o solo úmido, a produção não faz poeira e, de acordo com o Entrevistado 2, os resíduos sólidos retornam para reprocesso. O fato de não gerar efluentes, esse tipo de fábrica dispensa a licença ambiental estadual, sendo suficiente como documento legal a Dispensa da Licença Ambiental (DLAE) que é aceita no estado do Paraná conforme Resolução SEMA nº 51/2009 (IAT, 2021).

Relata o Entrevistado 1 que, no processo convencional, a produção era com material mais seco. Devido às limitações do equipamento de prensagem disponível à época (máquina convencional), era impossível prensar com mais de 7% de umidade,

muito abaixo do percentual da umidade ótima. À ocasião, o protótipo do multiprocessador já era utilizado, de modo que o processo de mistura se assemelhava ao utilizado atualmente. Como o solo era totalmente desidratado para trituração, cada batelada consumia em média 15 litros de água no preparo da mistura, o que resultava em um consumo médio de 110 litros de água para produção de mil tijolos 12,5x25x7 (LxCxA).

Relata o Entrevistado 1 que, no processo convencional, molhava as pilhas de tijolos com mangueira 3 vezes por dia, durante 7 dias, totalizando cerca de uma hora por dia, com o consumo semelhante de um chuveiro. Os tijolos absorviam maior quantidade de água no dia seguinte à prensagem e a absorção era gradativamente menor até o sétimo dia, sendo consumidos aproximadamente 113,4 litros de água no primeiro dia, no segundo dia 50,4 litros, no terceiro e quarto dia 25,2 litros, e no quinto, sexto e sétimo dia 12,6 litros, conforme cálculo no Apêndice AA. Portanto, estima-se um consumo médio de 36 litros por dia, integralizando 252 litros de água para a cura de mil tijolos. Sendo assim o processo, consumia 110 litros de água para a produção e 252 litros para a cura, ou seja, aproximadamente 362 litros de água para produzir mil unidades do tijolo no método convencional.

#### 4.3.6 Consumo de Energia

O levantamento do histórico de consumo de energia elétrica aponta a média de 800 quilowatts-hora (kwh) por mês, haja visto que nem todos os motores ficam ligados em tempo integral.

**Tabela 3 - Demandas de potência do Maquinário**

<b>Qt.</b>	<b>Descrição / Identificação do Motor</b>	<b>Potência</b>	<b>Potência Total KW</b>
1	Motor Prensa Automática	10 CV	7,5
1	Vibrador Silo Prensa	0,15 CV	0,25
4	Resistência Aquecimento Matrizes	200 W	0,8
1	Motor Rotor Multiprocessador	7,5 CV	5,5
1	Motor Cilindro Multiprocessador	3 CV	2,25
1	Motor Peneira Multiprocessador	1 CV	0,75
1	Vibrador Silo Multiprocessador	0,15 CV	0,125
1	Vibrador Peneira Multiprocessador	0,15 CV	0,125
1	Motor Esteira Transportadora	1 CV	0,75

1	Motor Compressor 10 pés / 100L	1 CV	0,75
<b>TOTAL</b>			<b>18,8</b>

**Fonte: Dados da Pesquisa**

Enquanto, no método convencional, a prensa manual não dispunha de motores, os dois únicos motores utilizados eram de 3 cavalos de potência no triturador e 1 cavalo de potência na betoneira, com as demais etapas realizadas manualmente, tanto o peneiramento como a transferência do material de um ponto ao outro por baldes. Como as contas de energia de 2005 a 2010 se somavam a atividade de mecânica de caminhões, uma segunda atividade da família na época, não foi possível ter o consumo real de energia de produção no método convencional. Portanto, estimou-se que com oito horas de trabalho, ligando cada motor alternadamente de acordo com suas funções, um consumo de 150 quilowatts-hora (kwh) por mês.

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DO SOLO

Depois de caracterizar o processo, o próximo passo foi analisar a matéria-prima utilizada para produção do tijolo solo-cimento, o solo. Foram enviadas amostras da matéria-prima para análise físico-química em laboratórios de materiais. Nessa sessão serão apresentados os resultados obtidos, tendo como fonte os laudos das análises técnicas.

O material utilizado foi adquirido na cidade de União da Vitória – PR, em uma jazida de distribuição de areia. Para garantir a inexistência de impurezas e matéria orgânica o solo foi extraído de profundidade de aproximadamente 5 metros abaixo da superfície.

A amostra de solo foi encaminhada para laboratório e preparada conforme as orientações da norma NBR 6457 (ABNT, 2016c). A caracterização do solo foi realizada com ensaios em laboratório acreditado pelo INMETRO, uma empresa especializada em ensaios de materiais, a Concre-test, situada na cidade Campinas, estado de São Paulo. Os testes incluem a distribuição granulométrica, índices de consistência e ensaio de compactação obtendo a umidade ótima.

#### 4.4.1 Determinação da Curva de Distribuição Granulométrica

Através de ensaios de peneiramento e sedimentação, foi determinada a curva de distribuição granulométrica do solo, conforme a norma NBR 7181 (ABNT, 2017), com os resultados apresentados na Gráfico 4.

**Gráfico 4 - Distribuição Granulométrica do Solo**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Com 18,3% de argila, o solo analisado apresentou percentual na condição aceita pela norma americana (DAES-EUA, 1964), que limita a uma quantidade mínima de 10%. Não foi identificado nenhuma norma brasileira informando limite mínimo de argila. Em relação a quantidade de areia fina, que apresentou 67,5% da composição, essa medida está acima das condições ideais sugeridas na norma brasileira NBR 10833 (ABNT, 2013a) de até 50%, porém dentro das condições ideais pelos parâmetros da norma americana que aceita solos com até 75% de areia.

#### 4.4.2 Determinação dos Índices de Consistência

Os índices de consistência são apresentados por limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), dando origem ao índice de plasticidade (IP), sendo  $IP = LL - LP$ .

O limite de liquidez foi determinado pela Concre-test, de acordo com a norma NBR 6459 (ABNT, 2016e), como Não Plástico (NP). O limite de plasticidade foi determinado, de acordo com a norma NBR 7180 (ABNT, 2016b), como NP. De acordo com a NBR 7180 (ABNT, 2016b), o índice de plasticidade é dado pela fórmula:  $IP =$

LL – LP. Desse modo, o índice de plasticidade também foi considerado como NP conforme ilustra a Quadro 5, um recorte do Apêndice V.

**Quadro 5 - Resultado do Índice de Plasticidade**

PROFUNDIDADE (m)	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS POR PENEIRAMENTO										ÍNDICES FÍSICOS (%)			I.G.	CLAS. T.R.B.	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		
	% QUE PASSA - PENEIRAS (mm)										L.L.	L.P.	I.P.			ENERGIA	M.E.A.S.MAX. (g/cm <sup>3</sup> )	UMID. ÓT. (%)
	19	9,5	4,8	2,0	1,2	0,6	0,42	0,30	0,15	0,075								
--	100	100	100	100	100	99,7	98,2	80,1	52,2	30,7	NP	NP	NP	0	A-2-4	NORMAL	1,824	13,8

**Fonte: Dados da Pesquisa**

Como as referidas normas toleram limites inferiores de 45% e 18% respectivamente para liquidez e plasticidade, o material foi considerado dentro dos parâmetros exigidos.

#### 4.4.3 Ensaio de Compactação - Umidade Ótima e Massa Específica Seca Máxima

Este ensaio visa determinar o percentual de umidade ótima (H.ot.) para compactação e os melhores resultados de densidade do material compactado, denominada de Massa Específica Aparente Seca Máxima (MEASM). Foi realizado de acordo com a norma NBR 7182 (ABNT, 2020), com energia de compactação normal, em 3 camadas no cilindro e com 26 golpes por camada. Os resultados são apresentados no Quadro 6.

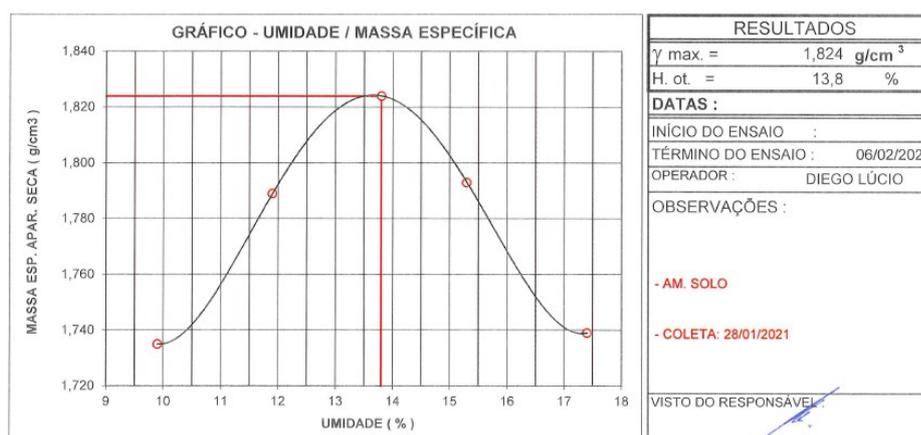
**Quadro 6 - Determinação do Teor de Umidade**

P O N T O	CILIN- DRO	Peso do C.P. úmido+ cilindro	Peso do cilindro	Volume do cilindro	Peso do C.P. úmido	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE										Massa Específica Aparente Úmida	Massa Específica Aparente Seca
						Capsula N.º	Peso bruto úmido	Peso bruto seco	Tara da capsula	Peso da água	Peso do solo seco	Teor de umidade	Média Teor de umidade				
														N.º	g		
HIGROSCÓPICA ( SOLO NATURAL )						449	101,64	96,16	26,34	5,5	69,82	7,8	7,9				
						115	84,92	80,50	24,42	4,4	56,08	7,9					
01	210	4296	2383	1003	1913	425	81,12	76,21	25,89	4,9	50,32	9,8	9,9	1,907	1,735		
						308	80,70	75,31	21,05	5,4	54,26	9,9					
02	210	4391	2383	1003	2008	488	67,96	63,51	25,77	4,5	37,74	11,8	11,9	2,002	1,789		
						190	80,26	74,05	21,94	6,2	52,11	11,9					
03	210	4465	2383	1003	2082	088	78,52	72,32	27,47	6,2	44,85	13,8	13,8	2,076	1,824		
						412	76,68	70,48	25,50	6,2	44,98	13,8					
04	210	4456	2383	1003	2073	206	82,30	74,42	22,84	7,9	51,58	15,3	15,3	2,067	1,793		
						238	86,23	77,70	21,93	8,5	55,77	15,3					
05	210	4430	2383	1003	2047	355	73,70	66,01	21,63	7,7	44,38	17,3	17,4	2,041	1,739		
						434	72,62	65,72	25,98	6,9	39,74	17,4					
06																	

**Fonte: Dados da Pesquisa**

Em gráfico, o teor de umidade ótimo é ilustrado no ponto mais alto da curva, onde se obteve a maior densidade, conforme o Gráfico 5. A maior densidade de um solo compactado tende a significar menos espaços de ar, ou menos vazios no interior daquele material. O engenheiro americano Ralph Roscoe Proctor, em 1933, enunciou estudos sobre a mecânica dos solos relacionando a densidade diretamente com a quantidade de água presente. Pouca água significava menos lubrificação das partículas, dificultando o agrupamento. Enquanto o excesso de água também acarreta no afastamento das partículas sólidas. A NBR 7182 (ABNT, 2020) segue os parâmetros adotados por Proctor, normatizado nos Estados Unidos pela American Association of State Highway Officials (AASHO), e é conhecido no Brasil por Ensaio Normal de Proctor.

**Gráfico 5 - Teor de Umidade x Densidade**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

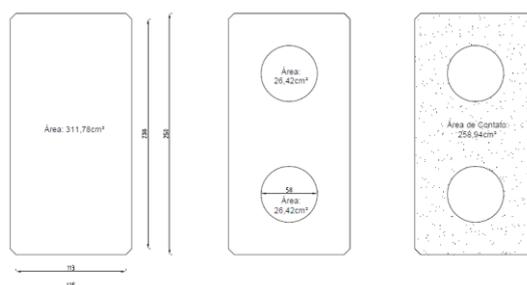
O tijolo solo-cimento de formato 12,5x25x7cm contém 1800cm<sup>3</sup>, ou seja, com a massa específica aparente seca máxima de 1,824 g/cm<sup>3</sup>, o tijolo com a adequada compactação deverá ter massa de 3.283 gramas. Considerando que cada solo tem sua umidade ótima específica, bem como sua massa específica, a massa total obtida (3.283g) passa a ser um parâmetro de referência para a qualidade exclusivamente das amostras desse solo em estudo.

#### 4.5 PROJETO DE MOLDE PARA AFERIÇÃO EM MÉTODO EXPEDITO

No setor da construção civil, entende-se como método expedito aquele que visa obter, de uma maneira mais ágil e utilizando-se das ferramentas disponíveis, um resultado aproximado de uma aferição normatizada. Com o decorrer dos estudos, notou-se a necessidade de realizar as análises das amostras antes dos 28 dias de cura de uma maneira menos complexa, em específico para a análise do método de cura em questão. O fato de desembrulhar os tijolos para o imediato ensaio do corpo de prova, não oferecia tempo hábil para a cura do cimento no capeamento (nivelamento de imperfeições ou reentrâncias) e imersão no mesmo dia de avaliação previsto.

Considerando ser uma avaliação de parâmetro de referência interno, apresenta-se na Figura 12 e na Figura 13 um novo modelo de matriz para produção de corpos de prova de solo-cimento, resultando em corpos de prova sem reentrâncias conforme, ilustrado na Figura 14. Para acompanhar a nova metodologia proposta e tema da dissertação, o ensaio expedito dos corpos de prova foi adotado como um parâmetro de referência para cruzar informações com os ensaios dos corpos de prova em laboratório acreditado.

**Figura 12 - Modelo de Matriz – Vista Superior**

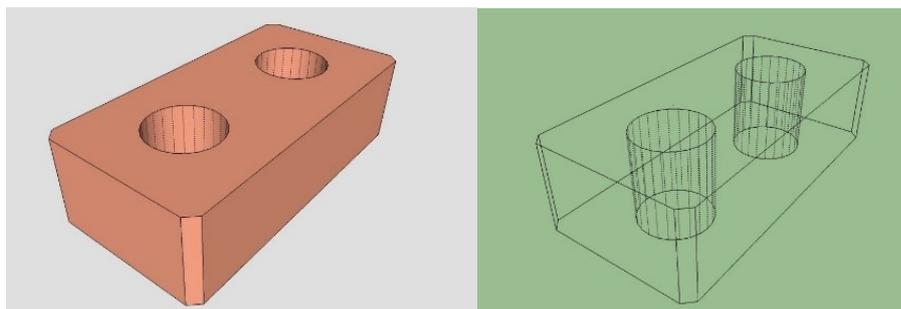


**Fonte: Elaborado pelo Autor**

**Figura 13 - Modelo de Matriz – Vista Lateral**



**Fonte: Elaborado pelo Autor**

**Figura 14 - Perspectiva Corpo de Prova para Ensaio Método Expedito**

Fonte: Elaborado pelo Autor

Além da dificuldade mencionada para aferição dos tijolos com a idade desejada no estudo, foi percebida uma demanda da fábrica durante as entrevistas. Foi relatado pelo Entrevistado 1 a dificuldade em aferir amostras com maior frequência e maior praticidade. A alternativa adotada foi o uso de uma prensa de avaliação de rompimento de corpos de prova de uma indústria de concreto da cidade. A empresa Pé Vermelho Concreto e Argamassa da cidade de Palmas – PR, cedeu, gentilmente seu laboratório de ensaios, e ao mesmo modo, o acompanhamento técnico de seu engenheiro responsável, Eng. João Paulo Corso, para realização do rompimento dos corpos de prova no ensaio expedito.

A NBR 8492 (ABNT, 2012) sugere que, apenas quando o tijolo apresentar rebaixo deve-se encher suas reentrâncias com pasta de cimento (capeamento). Portanto, ter toda a área da amostra em contato com as placas da prensa de rompimento foi outro motivo para utilizar matrizes planas no método de ensaio expedito.

A área líquida de contato seria  $258,94 \text{ cm}^2$  ou  $25.894 \text{ mm}^2$  descontando a área dos furos, porém, como rege a norma, os espaços vazios no interior que formam os dutos não foram desconsiderados, e a área bruta foi atribuída para o cálculo de resistência, sendo  $311,78 \text{ cm}^2$  ou  $31.178 \text{ mm}^2$ .

#### 4.6 PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS

Nesse capítulo é relatado como foram produzidas as amostras já dentro dos parâmetros compatíveis aos laudos da análise de solo.

#### 4.6.1 Dosagem da Matéria-prima

A empresa recomenda trabalhar com o solo imediatamente recém extraído, nas condições de campo, com umidade natural. A carga de material foi solicitada e entrou no processo de produção dia 25 de março de 2021, conforme Figura 15.

**Figura 15 - Entrada do Solo no Estoque**



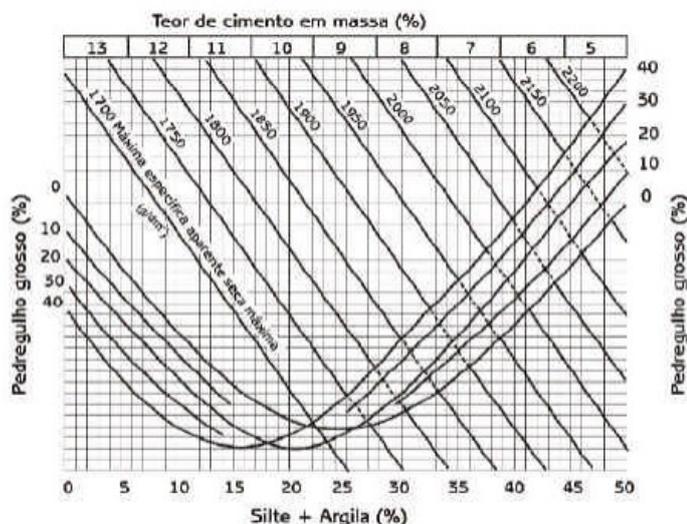
**Fonte: Dados da Pesquisa**

Na etapa de dosagem da matéria-prima (solo e cimento), foi considerado a massa unitária seca na proporção de 1:8, onde para cada quilo de cimento (CPV-ARI) foram adicionados 8 quilos de solo.

De acordo com NBR 6467 (ABNT, 2006), devido ao coeficiente de inchamento, temos o solo úmido mais leve que o solo seco quando analisado o mesmo volume. Foi constatado que o solo seco, dessa amostra específica, teve uma densidade de  $1,22 \text{ g/cm}^3$ , enquanto o solo úmido na condição natural de extração (16,36% de umidade), no momento de utilização, teve uma densidade de  $1,03 \text{ g/cm}^3$ . Com a grande proximidade da massa por volume (1kg para 1L), a empresa habitualmente trabalha a dosagem em litros para facilitar o manuseio dos materiais, abastecendo a concha com 400 litros de solo para 50 kg de cimento. Para extrair dados precisos no experimento foi considerado a massa de 40 kg de cimento para 320 kg de solo, já descontando a umidade da condição natural conforme Apêndice A, que contém todos os dados da mistura da produção da amostra.

De acordo com a ET 35 (ABCP, 1986) no Gráfico 6, é necessária uma quantidade de cimento de acordo com as proporções de argila, silte e pedregulho em relação a MEASM obtidas na análise de cada tipo de solo. Conforme laudo abordado anteriormente, para esse solo a MEASM obtida foi de  $1,824 \text{ g/cm}^3$ , o equivalente, no gráfico tal, a  $1824 \text{ g/dm}^3$ .

Gráfico 6 - Relação de Teor de Cimento



Fonte: ABCP (1986)

Relacionando os resultados da soma de argila e silte resultando em 30,7% com a MEASM de 1,824 g/cm<sup>3</sup>, foi considerado um traço de uma parte de cimento para oito partes de solo (1:8) ou 12,5% de cimento em relação a massa.

#### 4.6.2 Mistura do Solo e Cimento

Como foi relatado pelos entrevistados, no processo convencional o solo é seco e triturado para só então ser misturado com o cimento, não é o caso no método proposto, que sugere a mistura do cimento com a umidade natural do solo.

Normalmente o procedimento de abastecimento da concha dosadora do multiprocessador é realizado com o auxílio de uma concha carregadeira acoplada a uma empilhadeira, conforme ilustra a Figura 16.

Figura 16 - Abastecimento com Concha Carregadeira.



Fonte: Dados da Pesquisa

Para acurácia da pesquisa, a dosagem foi realizada manualmente, conforme a Figura 17, garantindo o valor correto da massa de solo, portanto, dispensando a concha da empilhadeira para o abastecimento.

**Figura 17 - Dosagem do Solo**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Foi abastecido o compartimento de dosagem pesando balde a balde, como ilustra a Figura 18. Com a anotação dos pesos, e lançamento simultaneamente na planilha de produção das amostras, foram acrescentados 24 baldes nivelados até a borda, já descontando o teor de umidade e o 25º balde resultou em uma quantidade menor para a finalização da dosagem.

**Figura 18 - Pesagem Balde a Balde**



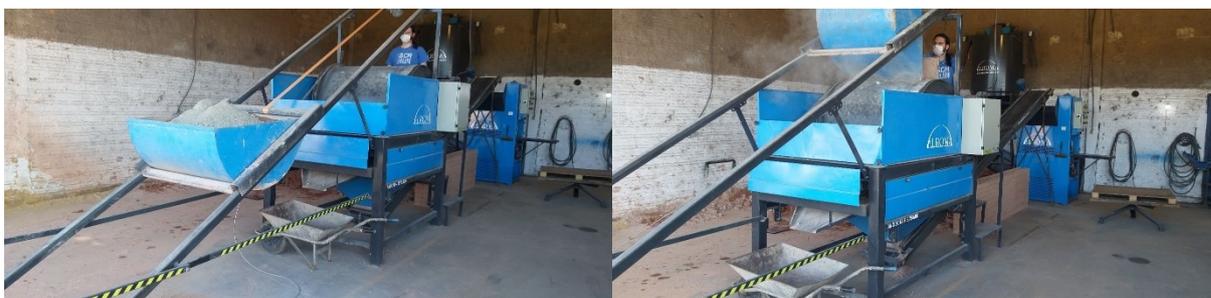
**Fonte: Dados da Pesquisa**

O cimento CP V-ARI com embalagem de 40 kg foi incorporado na dosagem, conforme Figura 19.

**Figura 19 - Adição do Cimento**

Fonte: Dados da Pesquisa

A concha dosadora foi acionada, subindo para basculamento, conforme Figura 20. A matéria-prima é acondicionada no compartimento do cilindro para mistura.

**Figura 20 - Transferência do Solo para o Cilindro**

Fonte: Dados da Pesquisa

Na sequência foi retornada a concha e fechado o cilindro com a tampa.

O multiprocessador distribuiu o cimento com o solo úmido através de um cilindro equipado com rotor. Foi acionado o sistema de giro do cilindro e da alta rotação do rotor, conforme Figura 21.

**Figura 21 - Acionamento do Cilindro e Rotor**

Fonte: Dados da Pesquisa

Com três minutos de mistura é parado o sistema para checar as condições da mescla. Notou-se que o solo já apresentava coloração uniforme e aparentemente com a consistência desejada, conforme Figura 22.

**Figura 22 - Checagem Manual de Homogeneidade e Umidade**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Foi coletado uma amostra do material, conforme a Figura 23, e aferida a umidade higroscópica através do método do micro-ondas. Esse método, segundo Faria *et al.* (2017), é o que mais se aproxima do método *Speedy*, considerado como o mais preciso, no entanto, esse último necessita de equipamentos especiais.

**Figura 23 - Coleta de Amostra para Aferição da Umidade**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Apesar da empresa possuir um aferidor de umidade digital, que resultou em 15,2% de umidade, conforme a Figura 24, ainda assim foi considerado o método do micro-ondas que resultou em 14,29%, conforme Apêndice C.

**Figura 24 - Aferição da Umidade Digital**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

Sabendo que o cimento se encarrega de absorver parte da umidade presente no solo e como não foi necessário acrescentar água, o material foi considerado pelo operador com a umidade próxima do ideal (umidade ótima = 13,8%). A próxima etapa foi o peneiramento.

#### 4.6.3 Peneiramento

Como o solo não possui pedras e nem pedregulho (partículas acima de 5mm), a empresa utiliza malha com abertura de 10,70mm apenas para conter eventuais impurezas. O equipamento multiprocessador possui uma peneira com sistema de vibração e vai-e-vem e inclinação que destina resíduos e impurezas na parte de trás da máquina, onde um carrinho de mão fica posicionado para coleta.

O peneiramento foi iniciado com o despejo do material do cilindro aos poucos em cima da peneira, já acionada com o sistema de vai-e-vem e vibração, conforme a Figura 25 e a Figura 26.

**Figura 25 - Vista Superior da Peneira**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

**Figura 26 - Movimentos da Peneira**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

A medida que ocorre o peneiramento, os resíduos de maior granulometria são retidos pela peneira, despejados pelo compartimento atrás da peneira e armazenados em um carrinho de mão, conforme Figura 27.

**Figura 27 - Resíduos Retidos na Peneira**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

A peneira é eficaz também na retenção de outros materiais que possam comprometer a qualidade do produto final, conforme Figura 28.

**Figura 28 - Impureza Retida na Peneira**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

A etapa de peneiramento foi finalizada com a pesagem dos resíduos retidos na peneira, conforme Figura 29.

**Figura 29 - Pesagem dos Resíduos Retidos na Peneira**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

O lançamento dessa diferença na planilha de produção de amostras conforme o Apêndice A, configurou uma medição mais precisa da proporção de cimento utilizada na mistura de 13,11%.

#### 4.6.4 Armazenamento

Logo abaixo da peneira um silo (funil) acomodou o material peneirado, além de ter sido funcional para reduzir a perda de umidade com ação do vento. Esse funil também é equipado com sistema de vibração, ilustrado na Figura 30, que possibilita o operador despachar o material para a prensa através da esteira garantindo que nenhum resquício da batelada permaneça em seu interior.

**Figura 30 - Funil de Armazenamento do Multiprocessador**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

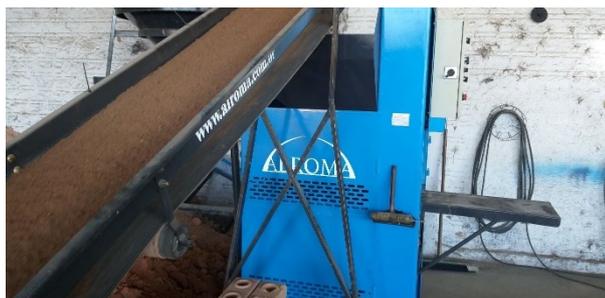
O material peneirado acomodado no funil do multiprocessador foi encaminhado para o setor de prensagem através de uma esteira transportadora, conforme Figura 31 e a Figura 32.

**Figura 31 - Esteira Transportadora Saída Multiprocessador**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

**Figura 32 - Esteira Transportadora Descarga na Prensa**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

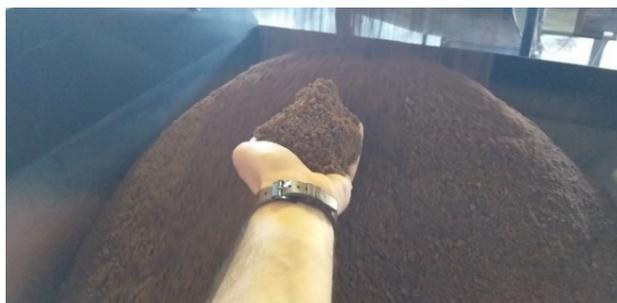
#### 4.6.5 Compactação

A prensa também é um equipamento que foi desenvolvido pela própria empresa concedente. Possui uma estrutura em chassi de vigas U e hastes cromadas de 45mm que reforçam sua estabilidade. O silo de armazenamento possui sistema de vibração automática que a cada avanço da gaveta alimentadora, permite uma dosagem padrão da matéria-prima para compactação. O equipamento oferece compactação de 12 toneladas, com um sistema hidráulico de compactação composto por pistão de 11,43cm (4,5”), uma bomba de óleo com vazão de 40 litros por minuto gerando 150 *bares* de pressão durante a prensagem. Considerando a área de avanço do pistão e o total de bar de pressão constatou-se 12,3 toneladas de compactação supondo uma eficiência do sistema de 80%, conforme cálculo no Apêndice D. De acordo com a

empresa, a alta compactação assegura um controle preciso da espessura das peças produzidas.

Com a prensa abastecida de material no silo, como ilustra a Figura 33, iniciou-se o procedimento de compactação da matéria-prima.

**Figura 33 - Material no Silo da Prensa**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

#### 4.6.6 Paletização e Embalagem Direta

A paletização com a embalagem direta é um dos enfoques desse estudo de caso. Com a alta compactação combinada a umidade ótima se obtém um produto com alta densidade e resistência que permitem empilhar tijolos diretamente nos paletes já na posição de transporte, conforme ilustra a Figura 34.

**Figura 34 - Paletização Direta**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Na batelada do estudo de caso foi optado por embalar em 4 colunas empilhadas separadas no mesmo palete conforme Figura 35, nomeadas de Coluna I, Coluna II, Coluna III e Coluna IV. O procedimento de empilhamento em colunas foi adotado para compor o total de tijolos referente a uma batelada. Ao mesmo modo que,

ao desembrulhar as amostras de rompimento no ensaio expedito não interfira as condições de umidade das amostras presentes nas demais colunas.

**Figura 35 - Paletização Direta das Amostras**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

No método proposto, é sugerido apenas a embalagem dos produtos com filme *stretch* (filme plástico), conforme ilustra a Figura 36, dispensando o processo de molha.

**Figura 36 - Embalagem Imediata das Amostras**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

#### 4.6.7 Cura Sem Molha

Depois de embalado o palete seguiu para o estoque, dispensando qualquer adição de água. O método proposto sugere a cura em local coberto, ao abrigo do sol, nos primeiros 3 dias.

#### 4.6.8 Estoque

Após 3 dias os paletes podem ser realocados em ambiente aberto (ventilado) ou até mesmo descoberto (sob a luz do sol), conforme a Figura 37 e a Figura 38 ilustram respectivamente.

**Figura 37 - Estoque em Ambiente Aberto**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

**Figura 38 - Estoque em Ambiente Descoberto**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Conforme Figura 39 e a Figura 40, com o auxílio de um tubo plástico, no sétimo dia de cura foi realizado orifícios na embalagem afim acelerar a secagem das peças, aumentando a ventilação e evaporação da umidade.

**Figura 39 - Realização de Furos de Ventilação na Embalagem**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

**Figura 40 - Furos de Ventilação na Embalagem**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Além de condicionar o produto a realidade dos canteiros de obras, segundo a empresa, esse procedimento de perfuração da embalagem evita que o produto armazenado por longo período crie limo ou manchas, conforme as patologias ilustradas nas Figuras 41 e na Figura 42.

**Figura 41 - Patologia Mofo**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

**Figura 42 - Patologia Limo**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Conforme ilustra a Figura 43, com quinze dias de idade, foi removida a embalagem de todas as colunas, com intenção de aproximar da realidade que ocorre em canteiro de obra, ao modo da Figura 44.

**Figura 43 - Remoção da Embalagem**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

**Figura 44 - Remoção Total da Embalagem**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

No próximo capítulo está registrado a análise das amostras com ferramentas disponíveis na própria cidade da fábrica. Foram reservadas também, amostras para análise em laboratório acreditado para confrontar os resultados.

#### 4.7 ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA EM MÉTODO EXPEDITO

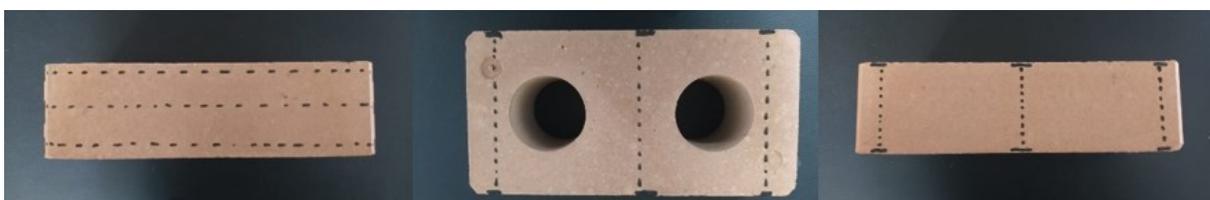
Os procedimentos obedecem de maneira parcial as normas técnicas vigentes. Foi considerado um ensaio expedito (para servir de parâmetro de referência) por ser adaptado para a realidade da estrutura da unidade de análise e de grande parte dos fabricantes do país. Matrizes planas têm um baixo custo e as prensas de medição em empresas de aferição nas usinas de concreto geralmente são de fácil acesso nas

idades das fábricas. A outra finalidade é de poder realizar os ensaios sem capeamento no dia desejado.

Apesar de não serem considerados laudos oficiais, o fabricante pode gerenciar dados comparando os resultados do ensaio expedito com os laudos oficiais acreditados da amostra padrão de comercialização. Uma vez encontrada a razão da proporção, o fabricante pode usar como indicador interno de qualidade.

No sétimo dia após a confecção das amostras, foram retiradas as 3 unidades de forma aleatória do empilhamento I, e medidas para determinação da dimensão e posteriormente serem submetidas a imersão e rompimento. De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012) cada face do tijolo deve ser medida em três pontos diferentes com exatidão de 0,5mm (uma medida em cada extremidade e uma no meio), conforme ilustra a Figura 45 e a ferramenta utilizada no Apêndice H, onde, o valor de cada face é o resultado da média das três medições com tolerância de 1mm para a dimensão nominal.

**Figura 45 - Pontos de Medição de Cada Face**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

A média das medições nas amostras manteve a tolerância permitida à dimensão nominal indicada pelo fabricante na largura, comprimento e altura de 12,5x25x7cm.

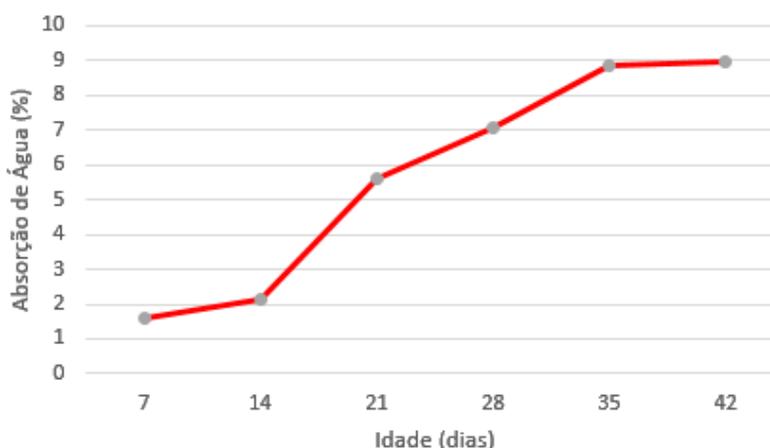
A NBR 8492 (ABNT, 2012) determina que as amostras devem ser imersas em tanque de água por no mínimo 6 horas. Esse procedimento, conforme Apêndice F, foi realizado as 7h da manhã nos dias de rompimento, repetindo-o para as demais datas, conforme o cronograma do Apêndice E. Também foi considerado no método expedito não realizar a desidratação total das amostras, medindo assim, o total absorvido na idade da devida avaliação. Da mesma coluna também foram selecionados 3 tijolos para rompimento com os corpos de provas secos.

Foram transportados os corpos de prova secos e os imersos no recipiente com água até o laboratório de testes da concreteira da cidade, e com o acompanhamento

técnico do engenheiro, os seis corpos de prova da Coluna I foram submetidos para o rompimento. De acordo com a NBR 8492 (ABNT, 2012), as peças foram secas superficialmente com pano levemente umedecido, pesados, e, um a um, foram alocados na prensa para rompimento. Repetiu-se o procedimento de ensaio com tijolos da mesma amostra produzida para os dias 14, 21 e 28, respectivamente, com as amostras das Colunas II, III e IV, conforme previsto e registrado no Apêndice G. Porém, fora de previsão, e sem estabilizar os resultados de resistência, foi optado por seguir com os rompimentos selecionando amostras aleatórias entre as quatro colunas. Todos os dados são expressos nas planilhas dos Apêndices K, L, M, N, O e P respectivamente de acordo com a data de ensaio. Os corpos de prova secos receberam as nomenclaturas iniciais A, B, C, D, E e F, enquanto os corpos de prova saturados receberam as nomenclaturas S, T, U, V, X e Y.

Os dados obtidos referentes a absorção de água, desprezando a desidratação total da amostra, são apresentados no Gráfico 7.

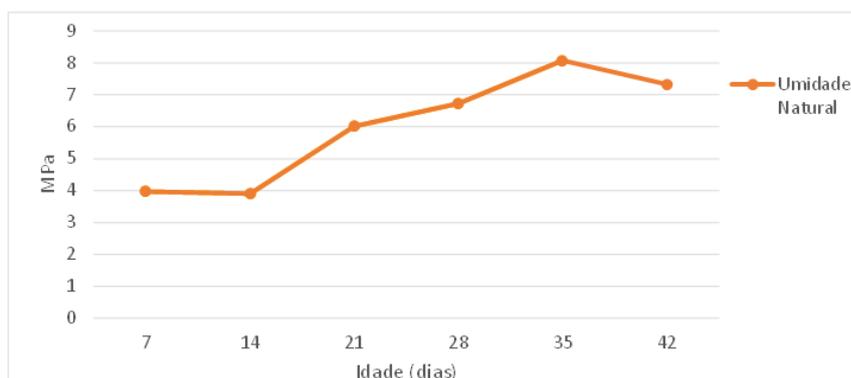
**Gráfico 7 - Evolução da Absorção de Água em Condição Natural**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Os corpos de prova demonstraram baixa absorção de água nos 14 primeiros dias de idade, devido a retenção de umidade garantida pela embalagem. Com a absorção próxima a 2% nos primeiros 14 dias, constata-se a retenção da umidade em relação ao total da massa.

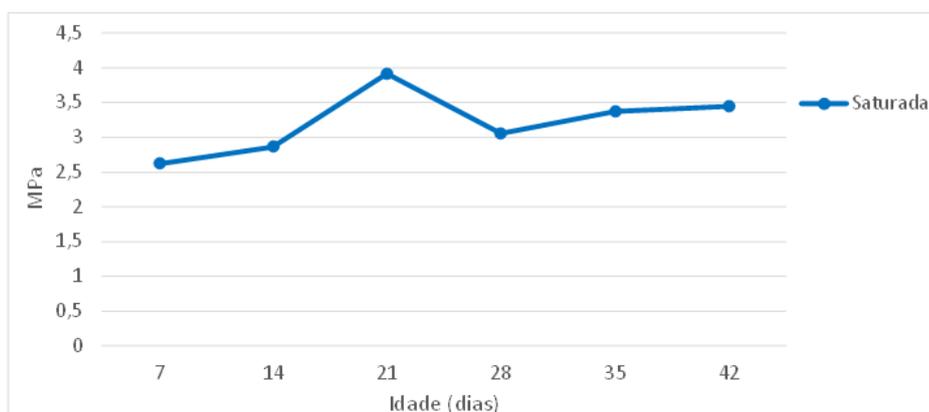
Os dados obtidos referentes a resistência dos corpos de prova secos, desprezando a saturação em água, ou seja, com a condição da umidade natural da idade, são apresentados no Gráfico 8.

**Gráfico 8 - Evolução da Resistência em Condição Natural de Umidade**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

Nos primeiros quatorze dias de cura os corpos de prova rompidos à seco demonstraram estabilidade na resistência à compressão, evoluindo gradativamente até atingir a média de 7,38 MPa entre o 28º e 42º dia.

Os dados obtidos referentes a resistência dos corpos de prova saturados, são apresentados no Gráfico 9.

**Gráfico 9 - Evolução da Resistência em Condição Saturada**

**Fonte: Dados da Pesquisa**

O rompimento dos corpos de prova saturados, mostraram estabilidade na resistência a compressão, sendo que, dentro de 14 dias de cura houve pouca variação de resistência.

#### 4.8 ENSAIO DOS CORPOS DE PROVA EM LABORATÓRIO ACREDITADO

Aos 28 dias, foram selecionadas 10 amostras aleatoriamente das colunas I, II, III e IV, devidamente embaladas e encaminhadas por transportadora para o laboratório de materiais em Campinas – SP.

No laudo, foi considerado a amostra dentro dos padrões dimensionais, com os resultados obtidos na íntegra expressos no Apêndice Q, e os resultados de absorção e resistência resumidos no Quadro 7.

**Quadro 7 - Resultado Aferição Laboratório Acreditado**

CP N.º	NOTA FISCAL N.º	SEÇÃO MEDIDA DAS FACES DE TRABALHO (mm²)	CARGA APLICADA (N)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	CP N.º	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
01	463	15.476	42.850	2,8	08	13,9
02	463	15.399	42.400	2,8	09	12,4
03	463	15.507	40.050	2,6	10	13,8
04	463	15.276	40.600	2,7	--	
05	463	15.502	41.250	2,7	--	
06	463	15.615	43.800	2,8	--	
07	463	15.166	40.350	2,7	--	
MÉDIA				2,7	--	13,4
LIMITES ESPECIFICADOS				Média ≥ 2,0 Individual ≥ 1,7	Média ≤ 20 Individual ≤ 22	

**Fonte: Dados da Pesquisa**

O laudo atesta tijolos atendendo aos requisitos mínimos exigidos na norma, permitindo assim a comercialização responsável do produto. De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012) os tijolos devem ter no mínimo 14 dias de idade para execução da alvenaria. De acordo com Pereira (2010), no terceiro dia de cura o cimento atinge 66% de sua resistência, e de acordo com o Entrevistado 1, a empresa tem histórico de transporte no terceiro dia sem comprometimento das peças no transporte das cargas.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo serão analisadas as vantagens relativas, as compatibilidades em relação ao antigo método de fabricação, além da complexidade, capacidade de testagem e observabilidade. Também é ilustrado o novo *framework* proposto referente ao método Alroma e os resultados obtidos com a pesquisa.

### 5.1 ATRIBUTOS PERCEBIDOS DA INOVAÇÃO

No Quadro 8, são identificadas as numerações relativas a cada critério de análise referente aos atributos percebidos na inovação. Na sequência, segundo as denominações de Rogers (2003), é comentado pontualmente cada critério de análise do seu aspecto de acordo com seu referido atributo.

**Quadro 8 - Quadro de Atributos Percebidos.**

Aspecto de Inovação	Critério de Análise	Atributos da Inovação (ROGERS, 2003)				
		V.R.	COMPAT.	COMPLEX.	CAP. TEST.	OBSERV.
PROCESSO	Tempo Total do Processo	1		2		3
	Etapas		4	5	6	7
	Consumo Água Produção	8				
	Consumo de Energia	9				
	Número de Operadores		10			
	Umidade Ótima	11				
	Embalagem	12	13	14	15	16
	Tempo de Cura	17				
	Consumo de Água Cura	18		19		
	Aferição Expedita	20	21	22	23	
PRODUTO	Resistência à Compressão	24				
	Absorção de Água	25				
	Análise Dimensional	26				
	Idade de Uso	27				

Verde: melhorias com o processo novo.  
 Vermelho: piores com o processo novo.  
 Branco: Nem melhora nem piora significativa.  
 Cinza: Elementos que não foram avaliados na pesquisa.

**Fonte: Dados da pesquisa**

1 - Tempo Total do Processo - Vantagem Relativa: Apesar de não ter registro do tempo total do processo convencional, a produtividade diária atual é três vezes maior. No

método convencional produzia-se em média mil tijolos por dia, e hoje, são produzidas três mil unidades por dia com a mesma jornada de oito horas trabalhadas. Tratando-se de vários estágios, considera-se um tempo relativamente curto pela complexidade das atividades com as máquinas atuais. Sendo assim, o tempo do processo atual é considerado reduzido.

2 - Tempo Total do Processo - Complexidade: Percebe-se um processo menos oneroso, onde todas as etapas são com máquinas de fácil manuseio.

3 - Tempo Total do Processo - Observabilidade: Foi constatado uma grande decepção dos entrevistados ao lembrar e relatar o tempo gasto com todas as etapas no processo convencional praticado nos primeiros anos da empresa.

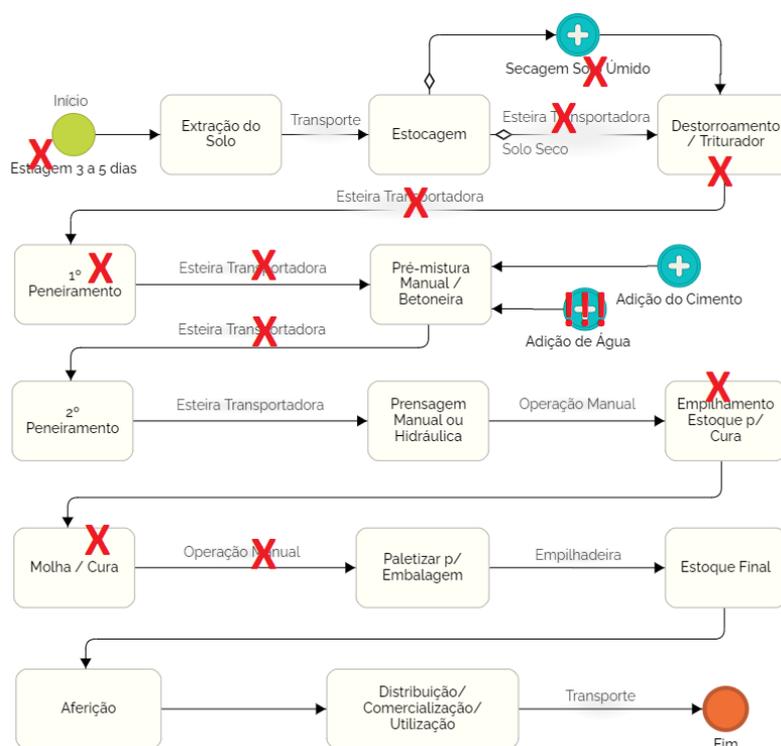
4 - Etapas - Compatibilidade: A primeira etapa do processo convencional (secagem do solo) foi eliminada. Além de não secar a matéria-prima, a mistura com o cimento já ocorre simultaneamente com a trituração e necessitando apenas de um peneiramento. Distribuir o solo e o cimento de maneira uniforme é uma das etapas do processo que demanda uma ferramenta adequada para se trabalhar com esse teor de umidade.

5 - Etapas - Complexidade: Foram reduzidas várias etapas do processo tornando-o menos complexo e mais ágil. Constatou-se menor número de esteiras transportadoras, menos máquinas e menos operadores.

6 - Etapas - Capacidade de Testagem: Não foi possível testar o método convencional, porém os entrevistados evidenciam a grande dificuldade que existia de executar todas as etapas do método antigo. Para testar esse novo método depende de máquinas do mesmo modelo que as utilizadas no estudo de caso. Máquinas convencionais podem não oferecer os mesmos resultados devido a diferença de capacidade de compactação e dificuldade de operação com materiais com grande teor de umidade.

7 - Etapas - Observabilidade: Baseado nos resultados da pesquisa, analisando as etapas pelo *framework* do método convencional pode-se concluir a simplicidade de execução das tarefas do método atual. Observa-se na Figura 46 as etapas eliminadas.

**Figura 46 - Etapas Eliminadas do Processo Convencional**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Ao analisar as etapas eliminadas na Figura 46, percebe-se que: O grande nível de estoque de solo seco não é mais necessário. O serviço de secagem, trituração e peneiramento, onde preparava o solo para a mistura, foi dispensado. Como geralmente o solo já vem úmido da jazida, dispensa a adição de água no processo. O serviço de molha dos tijolos não é mais necessário. O serviço de embalar os tijolos depois de 14 dias de cura também foi ignorado, pois, com a embalagem direta do novo método é possível embalar os tijolos no momento que saem da prensa. Quatro esteiras transportadoras foram dispensadas.

8 - Consumo de Água Produção - Vantagem Relativa: Sabendo que no método convencional o solo era desidratado para permitir ser triturado e peneirado, era também necessário no mínimo 15 litros de água por batelada para correção da umidade em 5% a 7%, que era o limite máximo de umidade para a prensagem convencional. No método atual, geralmente o solo já vem da extração com alto teor de umidade, dispensando correção. Sendo assim, o consumo caiu de 110 litros de água no método convencional para no máximo 36,6 litros no novo método

(considerando um cenário pessimista de adição de 5 litros de água por batelada), mas o que ocorre na maior parte do tempo é não acrescentar água, onde o consumo seria considerado nulo.

9 - Consumo de Energia - Vantagem Relativa: Desprezando as vantagens da automação, em relação ao consumo de energia elétrica o novo método proposto tem desvantagem. Onde antes haviam apenas dois motores, hoje diversos mecanismo elétricos e automáticos substituíram a mão de obra humana, onerando por sua vez em maior consumo de energia.

10 - Número de Operadores - Compatibilidade: Enquanto no método convencional eram necessários dez operadores, no método atual são necessários dois operadores.

11 - Umidade Ótima - Vantagem Relativa: Além de ser relatado pelo Entrevistado 1 que a umidade de trabalho não passava de 7% no método convencional, o estudo de Grande (2003) relatou só ser possível prensar com 5% de umidade. Apesar de que, cada solo ter uma umidade ótima específica, entre diversos laudos verificados, todos apontam para umidades ótimas acima de 10%, como é o caso do solo analisado, sugerindo 13,8% como umidade ótima. Portanto, o método proposto condicionado a variável das máquinas utilizadas, proporcionou a prensagem mais próxima à umidade ótima. A mistura ocorre em um cilindro fechado, o que ajuda a reter a umidade com reduzida evaporação. Outro ponto analisado é a necessidade de apenas uma esteira transportadora, enquanto o método convencional demanda até cinco esteiras. Sabe-se que quanto menos tempo a matéria-prima se deslocar sofrendo ação do vento ou evaporação natural, maior o tempo de validade da aferição da umidade ótima estabelecida no setor de mistura.

12 - Embalagem - Vantagem Relativa: A embalagem direta foi um grande avanço percebido, dispensando as etapas de empilhamento, molha e repaletização. Como relatado pelo Entrevistado 1, existia uma grande dificuldade no manuseio dos tijolos ainda frágeis nos primeiros dias de idade. Em partes pelas máquinas da época, em partes pela prensagem com baixa umidade.

13 - Embalagem - Compatibilidade: Percebeu-se compatibilidade com a molha diária pela baixa absorção de água dos corpos de prova aos sete dias de cura, conforme mostra a Figura 47 com poucas bolhas de ar. A hidratação para cura do cimento pode ser constatada a partir do resultado de 2% de absorção de água nos primeiros 14 dias de idade.

**Figura 47 - Bolhas de Ar Durante a Saturação**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

Foi percebido umidade evaporando imediatamente após a embalagem conforme Figura 48. No dia seguinte à produção, conforme a Figura 49, foi observado a ocorrência da condensação, ocasionando o retorno da umidade às peças. Assim, a umidade se manteve nos primeiros sete dias de cura.

**Figura 48 - Evaporação no Primeiro Dia**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

**Figura 49 - Condensação no Segundo Dia**



**Fonte: Dados da Pesquisa**

14 - Embalagem - Complexidade: Com os relatos dos entrevistados, percebeu-se a lamúria em lembrar da necessidade de molhar tijolos diariamente com um chuveiro. Ficou menos complexo, portanto, melhor para trabalhar no novo método.

15 - Embalagem - Capacidade de Testagem: Uma vez que o método de embalagem direta consome menos água para a cura, foi evidenciado que é menos agressivo ao meio ambiente. Pode ser testado por qualquer fabricante, porém, como mencionado pelo Entrevistado 2, é difícil imaginar que sem as máquinas apropriadas, seja possível atingir os mesmos resultados.

16 - Embalagem - Observabilidade: Acredita-se que mesmo uma pessoa inexperiente no ramo de fabricação de artefatos de cimento, por observação, possa perceber as vantagens da embalagem direta.

17 - Tempo de Cura - Vantagem Relativa: Enquanto as normas pedem no mínimo 14 dias para cura dos produtos, com o método analisado foi avaliada resistências satisfatórias já no sétimo dia de idade. Relata o Entrevistado 1 que já é possível encaminhar os tijolos para a obra a partir do terceiro dia.

18 - Consumo de Água Cura - Vantagem Relativa: O consumo de água na cura do processo convencional era de 252 litros de água para mil tijolos. Não foi necessário molhar os tijolos no método atual, portanto não houve consumo de água. Se enquadra entre as vantagens relativas do tijolo solo-cimento, considerado também ecológico por dispensar a queima, e com o método novo, por não consumir água no processo de cura.

19 - Consumo de Água Cura - Complexidade: Dispensar a molha dos tijolos foi considerado um grande avanço pelos entrevistados. Simplificou o processo por dispensar o trabalho diário de molha, muitas vezes onerando custos adicionais com funcionários realizando a tarefa em sábados, domingos e feriados.

20 - Aferição Expedita - Vantagem Relativa: Como a aferição expedita não era avaliada no processo convencional, trata-se apenas de uma avaliação de uso da técnica. A periodicidade de avaliação pode ser estabelecida pelo próprio fabricante

para ter uma referência da qualidade do seu produto. Como ocorrem pesquisas frequentes com diversos tipos de matéria-prima, a maneira de aferição expedita foi considerada importante para avançar ou não com determinados projetos, reduzindo a frequência de laudos e os custos com análises em laboratórios acreditados. Não se pode afirmar que as análises em laboratório sejam dispensadas, mas que sejam acionadas apenas em um segundo momento, aferindo amostras de traços que já tiveram os melhores resultados nas avaliações prévias do método expedito.

21 - Aferição Expedita - Compatibilidade: Os resultados do ensaio expedito aos 7 e 14 dias com corpos de prova saturados condizem com a análise do laboratório acreditado pelo INMETRO. Portanto, pondera-se considerar como referência para essa prensa local, para essa unidade de fabricação. Apesar de não oferecer o número preciso em relação ao resultado aferido no laboratório acreditado, o método utilizado no ensaio expedito torna-se útil para garantir que não se comercialize produtos abaixo da resistência mínima exigida. Um dos fatores que possam ter interferido nas médias com idades de maior tempo de cura é que o laboratório acreditado informou ter saturado as peças por um período de 8h, enquanto no ensaio expedito o período foi de 6h (o mínimo exigido pela norma).

22 - Aferição Expedita - Complexidade: O método de ensaio é relativamente simples, utilizando as matrizes planas e dispensando o capeamento, o ensaio pode ser elaborado em prensas de rompimento de corpos de prova na cidade local.

23 - Aferição Expedita - Capacidade de Testagem: É possível ser testado pelos demais fabricantes do Brasil com o devido acompanhamento técnico, estabelecendo relação com os resultados de um laboratório acreditado. O Apêndice J ilustra o padrão de danos apresentados nos corpos de prova, com uma linha de quebra paralela a borda do tijolo, o que poderá possivelmente ser percebido na repetição com o mesmo procedimento de ensaio.

24 - Resistência à Compressão - Vantagem Relativa: Conforme o laudo do Apêndice Q, as amostras foram aprovadas por atenderem as especificações da NBR 8492 (ABNT, 2012). Os Apêndices R, S e T, são laudos de fabricantes que experimentaram

o processo analisado, e atingiram de 5 a 12,5 MPa de resistência, aferidos pelo mesmo laboratório, utilizando as mesmas máquinas e o mesmo método de embalagem direta e cura sem molha. De acordo com o Entrevistado 1, apesar do valor apresentado no laudo atender os requisitos mínimos da NBR 8492 (ABNT, 2012), o valor obtido na média das amostras do estudo de caso em específico, abaixo dos demais, está relacionado as características desse solo, especificamente na consistência, classificado como não plástico e na granulometria, pelo seu alto percentual de areia fina (67,5%), que ultrapassa o recomendado pela NBR 10833 (ABNT, 2013a), onde estabelece limite máximo de até 50%, ou seja, 17,5% a mais do ideal.

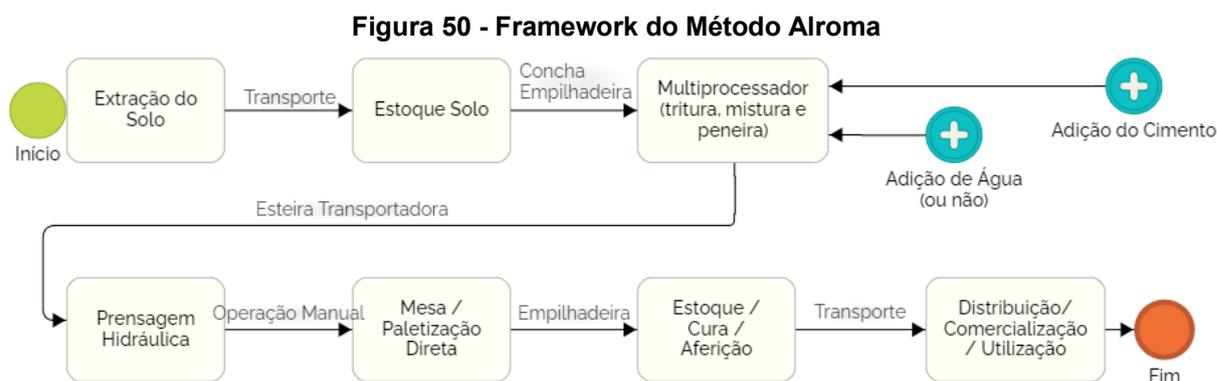
25 - Absorção de Água - Vantagem Relativa: A média de absorção de água do produto final não se mostrou diferente de outras aferições acreditadas, atendendo as exigências requeridas pela norma. Salienta-se que, durante os ensaios do método expedito a absorção não condicionava os tijolos em estufa durante 24 horas entre 100 e 110°C conforme rege a norma NBR 10836 (ABNT, 2013b), apenas foi constado a evolução da absorção em relação a umidade natural do dia aferido.

26 - Análise Dimensional - Vantagem Relativa: A análise dimensional do produto final não se mostrou diferente de outras aferições em laudos antigos de tijolos produzidos no método convencional, atendendo as exigências requeridas pela NBR 8492 (ABNT, 2012).

27 - Idade de Uso - Vantagem Relativa: A idade para uso do produto foi reduzida. Apesar do Entrevistado 1 informar já ter encaminhado para obra tijolos com 3 dias de idade, esperar até o sétimo dia seria um padrão recomendado para cura do cimento. Mesmo a NBR 10833 (ABNT, 2013a) recomendando 14 dias para utilização, foi notado que a resistência inicial de 7 dias foi superior a necessidade solicitada na norma.

## 5.2 ESTRUTURAÇÃO DO FRAMEWORK DO MÉTODO ALROMA

O *framework* do processo convencional anteriormente ilustrado no Capítulo 2.3, torna-se obsoleto a partir do estudo de caso de acordo com a ilustração na Figura 50.



**Fonte: Dados da Pesquisa**

O solo recém extraído é transportado até o estoque, a empilhadeira com concha abastece o multiprocessador, na sequência adiciona-se o cimento e o equipamento processa tudo, triturando e misturando o solo com o cimento. Eventualmente é necessário a adição de água. Atingido a umidade ótima, o conteúdo é despejado aos poucos na peneira e o material livre de impurezas é armazenado no funil do multiprocessador. Transfere-se o conteúdo para a prensa e imediatamente após a prensagem, manualmente os tijolos são acomodados em paletes sobre as mesas rotatórias. Após a embalagem com plástico a empilhadeira transfere o palete para o ambiente de cura. Os produtos são aferidos de maneira expedita com frequência e eventualmente em laboratório acreditado. O produto é transportado diretamente até o consumidor final para utilização ou até os pontos de comercialização e revenda.

## 5.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Baseado nas evidências aferidas no estudo de caso e comparando com o método convencional até então proposto, foi constatado a inovação no processo de produção de solo-cimento. Com o foco em aferir a embalagem direta e na cura sem

molha, foram obtidas informações suficientes para compor com autenticidade as qualidades exigidas em norma do produto em questão. Não foi necessário molhar os tijolos por sete dias como recomenda ABCP (2000) em seu boletim técnico (BT-111). Não foi necessário remanusear os tijolos como indica a NBR 10833 (ABNT, 2013a), sobre empilhamento em piso plano e manuseio para embalagem somente após 14 dias.

Foi constatado também, que a inversão da ordem dos processos de trituração, mistura e peneiramento, diferente do orientado pela NBR 10833 (ABNT, 2013a), não interferiu na qualidade do produto final. Agilizou o processo e facilitou a produção mesmo em solos com alta umidade. Através do *framework* do novo processo avaliado foi considerado que houve uma evolução significativa em relação ao processo convencional.

Recomenda-se que os ensaios utilizados no método expedito sejam feitos com corpos de prova de idades entre 7 e 14 dias e tendo passado por no mínimo 8h de imersão para saturação, obtendo assim, resultados para uma relação mais próxima dos resultados do ensaio acreditado utilizados como parâmetros de referência.

Os ensaios de resistência, no método expedito, com os corpos na umidade natural da data (sem saturação), não se aproximaram dos resultados de resistência aferidos em laboratório acreditado. Apesar de ser notável a evolução da resistência com o tempo, não retrata a realidade dos padrões e parâmetros de medição estabelecidos por norma.

As avaliações de absorção de água foram de medidas registradas com a umidade natural do dia de ensaio em relação à saturação do mesmo dia. A medição expedita de absorção de água, não utilizou em nenhum momento estufa de secagem como sugere a norma. O parâmetro foi considerado para referência de absorção nos primeiros dias de idade até a aferição em laboratório. Notou-se que mesmo após os 42 dias os tijolos ainda apresentavam umidade natural (com absorção 8,96%), tendo como parâmetro o resultado final de laboratório que constatou 13,4% de absorção. Portanto, do sétimo dia ao décimo quarto dia, percebe-se uma alta retenção de água, absorvendo apenas 1,6% e 2,13% nas respectivas datas.

Vários pontos que tangem o *ranking* de desempenho ESG estão alinhados de acordo com as iniciativas ponderadas por Eccles e Serafeim (2015) no desenvolvimento de produtos ecológicos. A exemplo disso temos as iniciativas de

avaliação dos problemas na ordem das emissões de CO<sup>2</sup> analisado por RESTELLI *et al.* (2021a), a redução do consumo de água da presente pesquisa e com a gestão de resíduos na reutilização de cinzas de cavaco pinus elaborado por RESTELLI *et al.* (2021b). Com vários estudos na área, pode-se concentrar esforços ganhando eficiência na geração de lucros. Segundo Eccles e Serafeim (2015), resta então a divulgação, comunicando as inovações para as empresas do setor.

## 6 CONCLUSÕES

Atendendo a cada um dos objetivos específicos, a pesquisa trouxe, embasado nas normas técnicas vigentes, a caracterização do processo convencional de produção de tijolos solo-cimento. Abordou os métodos atuais de embalagem e os procedimentos de cura convencional, molhando os tijolos por sete dias. O estudo contemplou os principais construtos para esse tipo de produção, as suas variáveis e seus respectivos parâmetros de referência.

Através do estudo de caso foi possível caracterizar o novo método de produção de tijolos solo-cimento, ilustrando as alterações e as formas de proceder com sistema de embalagem para a cura natural dos tijolos sem adição de água. O tempo de batelada aferido permitiu levantar demais dados de consumo, assim como o consumo de água necessário no processo. Foi verificado que, para cada mil tijolos produzidos, no método com a embalagem direta, é possível reduzir o consumo de água no processo de produção em até 110 litros e na etapa de cura em até 252 litros, totalizando economia de até 362 litros de água.

Sabendo que a cidade de Palmas-PR não possui laboratório de materiais acreditado, e contando com o auxílio e suporte do laboratório de materiais de uma usina de concreto na mesma cidade da unidade de análise, foi possível, através de ensaios expeditos, aferir os tijolos imediatamente nas datas pré-estabelecidas.

À luz da Teoria dos Atributos Percebidos (ROGERS, 2003), foram abordadas pontualmente cada uma das variáveis de qualidade da produção. Com alusão ao processo convencional, foi possível constatar e discutir sobre as diversas singularidades da percepção da inovação. Por fim, com respaldo científico e munido dos resultados atingidos, foi possível estruturar um novo *framework* incorporando as mudanças avaliadas no Método Alroma de produção de tijolos solo-cimento, constatando-o como uma inovação de processo.

Portanto, considera-se atingido o objetivo de avaliar os resultados da implantação da inovação no processo de produção de tijolos ecológicos, contemplando assim às perguntas e inquietações propostas na investigação.

## 6.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa contribuiu com a literatura e com o setor industrial descrevendo um framework de um novo processo de fabricação de tijolos solo-cimento, com detalhamento de procedimentos e técnicas inovadoras para as etapas de embalagem e cura sem molha. Com isso, auxilia diretamente na promoção de maneiras de preservação dos recursos hídricos.

Além de dar notoriedade sobre a redução do consumo de água no processo de produção e na dispensa total da água para a cura, o método proposto sugere formas de maior produtividade com menos recursos e capital humano, agilizando o tempo de entrega com melhorias na qualidade do produto.

A proposta de sugerir atualização dos procedimentos de produção orientados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), pode ficar comprometido pela necessidade de máquinas específicas, diferentes das convencionais.

O estudo traz maior sustentabilidade ao setor da construção civil, que está sempre ativo em atender as necessidades da população, com a opção de auxiliar com a redução da quantidade de água necessária para produção e cura dos tijolos solo-cimento. Além de auxiliar os fabricantes a melhorarem seus processos em direção à industrialização em larga escala, estimula o mercado do tijolo ecológico.

Finalmente, propagando o conhecimento científico, contribui esse trabalho por promover a evolução de um processo e fomentar a discussão e aprimoramento de novas tecnologias.

## 6.2 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesse item são apresentados as limitações e os estudos considerados válidos de avaliação futura. Pontos de atenção para ampliar acurácia em novas pesquisas e até mesmo ampliar a validação desta pesquisa.

### Limitações:

- O estudo foi realizado em apenas uma unidade de análise.

- Uma única batelada produzida pode ter restringido a variedade de amostras, oferecendo reduzida amplitude nos ensaios.
- A aplicação apenas das normas técnicas brasileiras da ABNT.

#### Recomendações:

- Analisar a resistência de tijolos com solos de diferentes níveis de plasticidade e percentual de areia, empregando o mesmo teor de cimento entre as amostras e o mesmo método de produção.
- Fazer novos ensaios com amostras aos 7 e 14 dias de cura com pelo menos 8h de saturação dos corpos de prova. Comparar com nova aferição em laboratório acreditado.
- Realizar experiências com aditivos ou misturas com maior quantidade de argila, buscando aumentar os índices de consistência, principalmente com o aumento da plasticidade e avaliar o percentual com melhor de desempenho.
- Devido a um valor elevado na resistência, analisar as amostras de solo do fabricante do Apêndice R, com intuito de direcionar para as condições de solo ideal, seja na granulometria da areia, porcentagens de silte e argila, bem como o índice de plasticidade e umidade ótima.
- Realizar ensaio normal de Proctor com o percentual de cimento adequado já na composição da matéria-prima, definindo uma umidade ótima considerando as interferências dos finos do cimento.
- Avaliar qual o percentual mínimo de umidade da mistura que atende às necessidades para uma cura sem molha.
- Replicar a avaliação com mais fábricas a fim de sustentar com maior vigor a validação dos conceitos dessa inovação.
- Realizar avaliação econômica do processo convencional *versus* novo método, no que tange os recursos de utilização de água, quantidade produzida, custos com colaboradores e tempo de processo.
- Entende-se que a aplicação do framework proposto a outros casos, posteriormente, seja recomendável para ampliar a validade externa dos resultados.

- Refinar a pesquisa com buscas por normas internacionais que aprovelem ou corroborem as premissas da inovação.

## REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **ET 35. Dosagem das misturas de solo-cimento; normas de dosagem e métodos de ensaios.** São Paulo, 1986.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Boletim Técnico – BT 111. Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais.** São Paulo, 2000.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Boletim Técnico – BT 106. Guia Básico de Utilização do Cimento Portland.** São Paulo, 2002.

ABIKO, A. K. Tecnologias Apropriadas: Tijolos e Paredes Monolíticas de Solo-cimento. Dissertação. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.** São Paulo, 1980.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14931 - Execução de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6467 - Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8491 - Tijolo de solo-cimento - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8492 - Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10836 – Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio** Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Dossiê Técnico – Tijolo solo-cimento.** São Paulo, 2016a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade.** São Paulo, 2016b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** São Paulo, 2016c.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6458 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica.** São Paulo, 2016d.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez.** São Paulo, 2016e.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica.** São Paulo, 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16697 - Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7182 - Solo - Ensaio de compactação.** São Paulo, 2020.

ALROMA – Máquinas para Tijolos Ecológicos. Disponível em: <https://www.alroma.com.br>, último acesso em: 20/07/2021.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/revista-anicer/revista-96/historia/>, último acesso em 06/09/2021.

BACCELLI, J. G. Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó - RN. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, Natal (2010).

BAINES, T., BROWN, S., BENEDETTINI, O., BALL, P. Examining green production and its role within the competitive strategy of manufacturers. **Journal of Industrial Engineering and Management** (2012).

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo.** 70ª ed. Lisboa, Portugal, LDA (2016).

BARROS, M. M. et al. Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin. **Construction and Building Materials**, v. 232, p. 1–9, 2020.

BONET-MARTÍNEZ, E. et al. Manufacture of sustainable clay bricks using waste from secondary aluminum recycling as raw material. **Materials**, v. 11, n. 12, 2018.

CAPUTO, H. P.; CAPUTO, A. N.; RODRIGUES, J. M. A. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 7ª ed. Rio de Janeiro, LTC, 2015.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Elsevier, 2ª ed. Rio de Janeiro, 2012.

CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro**

**Comum.** Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1991.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa - Métodos qualitativo, quantitativo e misto.** [s.l: s.n.]. v. 53, 2007.

DAES-USA. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais dos Estados Unidos da América. **Soil Cement - Its use in Building.** United Nations, New York, 1964.

DAHMEN, J.; KIM, J.; OUELLET-PLAMONDON, C. M. Life cycle assessment of emergent masonry blocks. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 1622–1637, 2018.

ECCLES, R.; SERAFEIM, G. **The Big Idea The Performance frontier: Innovating for sustainable strategy.** n. May, 2015.

FARIA, L. F. D.; GOMES, R. M. S.; SARMENTO, A. P.; CAMARGO, D.; FERNANDES, I. **Correlação Dos Teores De Umidade Obtidos Através De Diferentes Métodos De Ensaio, 3º CONPEEX - Congresso de Pesquisa, Ensino, Extensão e Cultura - RC/UFG, 2017.**

FAYAD, M.; SCHMIDT, D.; JOHNSON, R. **Building Application Frameworks: Object-Oriented Foundations of Framework Design.** John Wiley & Sons, 1999.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem a adição de sílica ativa.** Escola de Engenharia de São Paulo - USP, 2003.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** Atlas, 5ª ed. São Paulo, 2010.

HAANAES K. ET AL. Research Report: Sustainability Nears a Tipping Point. **MIT Sloan Management Review**, p. 1–19, 2012.

HART, S. L.; MILSTEIN, M. B.; CAGGIANO, J. Creating sustainable value. **Academy of Management Executive**, v. 17, n. 2, p. 56–69, 2003.

IAT – Instituto Água e Terra. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Licenciamento-de-atividades-especificas>, último acesso em 25/07/2021.

JAVED, U. et al. Sustainable incorporation of lime-bentonite clay composite for production of ecofriendly bricks. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, 2020.

JAYASINGHE, C.; FONSEKA, W. M. C. D. J.; ABEYGUNAWARDHENE, Y. M. Load bearing properties of composite masonry constructed with recycled building demolition waste and cement stabilized rammed earth. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 471–477, 2016.

KAZMI, S. M. S. et al. Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 29–41, 2016.

LEONEL, R. F. et al. Characterization of soil-cement bricks with incorporation of used foundry sand. **Cerâmica**, v. 63, n. 367, p. 329–335, 2017.

LOUETTE, A. **Livro\_Indicadores de Nações.pdf**. [s.l: s.n.], 2009.

LOYA, M. I. M.; RAWANI, A. M. Adoption factors for green brick innovation: An empirical study of consumers in India. **International Journal of Innovation and Sustainable Development**, v. 11, n. 1, p. 23–36, 2017.

LUBIN, D. A.; ESTY, D. C. The sustainability imperative. **Harvard Business Review**, v. 88, n. 5, 2010.

MACHADO, C. R. A Influência da Matéria Orgânica na Mistura de Solo-Cimento. **Congresso de Iniciação Científica - 12ª Mostra de Produção Universitária**. Rio Grande, 2013.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. Atlas, 7ª ed. São Paulo, 2010.

MATTOS, C. S.; FETTERMANN, D. C.; MIGUEL, P. A. C. Métodos para a Modularização de Serviços: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **XXXVII Encontro Nacional De Engenharia De Producao - ENEGEP**, 2017.

MEZZOMO, L. P. **Um framework para avaliação e melhoria do processo de software aderente ao CMMI, MR-MPS-SW E ISO/IEC 12207**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Instituto de Ciências Exatas e Naturais. Universidade Federal do Pará, 2015.

MMA - Ministério do Meio Ambiente: Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. **República Federativa do Brasil, Convenção INDC** (2015).

NIDUMOLU, R.; PRAHALAD, C. K.; RANGASWAMI, M. R. Why sustainability is now the key driver of innovation. **Harvard Business Review**, v. 87, n. 9, 2009.

OECD. **Manual de Oslo**. [s.d.], 1997.

OECD. **Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition**. [s.l: s.n.], 2018.

OTI, J. E.; KINUTHIA, J. M.; BAI, J. Engineering properties of unfired clay masonry bricks. **Engineering Geology**, v. 107, n. 3–4, p. 130–139, 2009.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.

PIZANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de

solo-cimento. **AE Ensaios**, 2006.

POLLI, G. M. **Representações sociais do meio ambiente e da água na mudança de paradigmas ambientais**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Psicologia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 2012.

PORTER, M. E.; KRAMER, M. R. Creating shared value. **Harvard Business Review**, v. 89, n. 1–2, 2011.

REIS, F. M. D.; RIBEIRO, R. P.; REIS, M. J. Physical-mechanical properties of soil-cement bricks with the addition of the fine fraction from the quartzite mining tailings (State of Minas Gerais – Brazil). **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, 2020.

RESELLI, R. E; BATISTUS, D. R; DONIZETTI, J. L; RESELLI, A. Análise de viabilidade econômico da implantação de uma fábrica de tijolos solo-cimento. **XXXVIII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Maceió - AL. p. 1–15, 2018.

RESELLI, R. E; LIMA, E.P.; SCHENATTO, F. J. A. Assessing the Use of Pine Chip Ash in Manufacturing Soil–Cement Bricks. Integrating Social Responsibility and Sustainable Development. **World Sustainability Series - Springer**, 2021a.

RESELLI, R. E; PAIVA, A. F.; LAMEZON, D.A.L.; LIMA, E.P.; SCHENATTO, F. J. A. Assessment of CO2 emission in the Soil-Cement Brick Industry: A Case Study in southwest Paraná. **International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management - IJCIEOM**, 2021b.

RIYAD, A. S. M.; SHOAIB, M. S. Influence of uncontrolled burn rice husk ash on engineering properties of cement-admixed fine-grained soil. **Australian Journal of Civil Engineering**, 2020.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovation**. 5. ed. New York: The Free Press, 2003.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Reuse of grits waste for the production of soil-cement bricks. **Journal of Environmental Management**, v. 131, p. 1–6, 2013.

TAHA, Y. et al. Coal mine wastes recycling for coal recovery and eco-friendly bricks production. **Minerals Engineering**, v. 107, p. 123–138, 2017.

TANG, C. S.; ZHOU, S. Research advances in environmentally and socially sustainable operations. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 3, p. 585–594, 2012.

UKWATTA, A.; MOHAJERANI, A. Effect of organic content in biosolids on the properties of fired-clay bricks incorporated with biosolids. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 7, 2017.

VARADARAJAN, R. Fortune at the bottom of the innovation pyramid: The strategic

logic of incremental innovations. **Business Horizons**, v. 52, n. 1, p. 21–29, 2009.

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. **Indicators of sustainable production: Framework and methodology**. [s.l.: s.n.]. v. 9, 2001.

YU, H. et al. Stabilised compressed earth bricks made with coastal solonchak. **Construction and Building Materials**, v. 77, p. 409–418, 2015.

## APÊNDICE A – PLANILHA PARA CONTROLE E PRODUÇÃO DE AMOSTRAS

PLANILHA PARA CONTROLE E PRODUÇÃO DE AMOSTRAS				Página 1/2	
Controle Interno: ALROMA - Tijolos Ecológico			CIDADE/UF: Palmas / PR		
MÉTODO DE PRODUÇÃO:		Embalagem direta e cura sem molha			
RESULTADOS DA ANÁLISE DO SOLO					
ARGILA: 18,3%	SILTE: 12,4%	AREIA FINA: 67,5%	AREIA G: 1,8%	PEDREGULHO: 0,0%	
LIMITE DE LIQUIDEZ: Não Plástico		LIMITE DE PLASTICIDADE: Não Plástico		INDICE DE PLASTICIDADE: Não Plástico	
MASSA ESPECÍFICA: 2,67 g/cm <sup>3</sup>		MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA: <b>1,824 g/cm<sup>3</sup></b>		MEAUmida:	<b>2,076 g/cm<sup>3</sup></b>
HUMIDADE ÓTIMA: <b>13,80 %</b>	VOLUME TIJOLO: <b>1800 cm<sup>3</sup></b>				
DATA ENTRADA MATÉRIA PRIMA: 25/03/2021			DATA PRODUÇÃO: 01/04/2021		
HUMIDADE HIGROSCÓPICA - MÉTODO MICROONDAS					
A	AMOSTRA ÚMIDA + VAZILHA	675 g.	DENSIDADE PREVISTA RECÉM PRENSADO:		3737 g.
B	AMOSTRA SECA + VAZILHA	648 g.	DENSIDADE PREVISTA PRODUTO SECO:		3283 g.
C	VAZILHA TARA:	483 g.			
D	SOLO SECO	165 g.			
E	SOLO ÚMIDO	192 g.			
F	ÁGUA	27 g.			
G	PERCENTUAL DE UMIDADE (U)	16,36 %			
TRAÇO	CIMENTO: 1	SOLO: 8	CIMENTO: 40 kg	SOLO: 320 kg	

DOSAGEM MANUAL				Página 2/2	
QTD/DADE	TARA BALDE:	450 g.	PESO BALDE CHEIO	ÁGUA	SOLO
1	450 g.		14900 g.	2365 g.	12085 g.
2	450 g.		14500 g.	2299 g.	11751 g.
3	450 g.		14200 g.	2250 g.	11500 g.
4	450 g.		15200 g.	2414 g.	12336 g.
5	450 g.		16100 g.	2561 g.	13089 g.
6	450 g.		16800 g.	2675 g.	13675 g.
7	450 g.		16200 g.	2577 g.	13173 g.
8	450 g.		14700 g.	2332 g.	11918 g.
9	450 g.		16600 g.	2643 g.	13507 g.
10	450 g.		16200 g.	2577 g.	13173 g.
11	450 g.		17100 g.	2725 g.	13925 g.
12	450 g.		16800 g.	2675 g.	13675 g.
13	450 g.		16600 g.	2643 g.	13507 g.
14	450 g.		16000 g.	2545 g.	13005 g.
15	450 g.		16400 g.	2610 g.	13340 g.
16	450 g.		16400 g.	2610 g.	13340 g.
17	450 g.		17500 g.	2790 g.	14260 g.
18	450 g.		17700 g.	2823 g.	14427 g.
19	450 g.		16800 g.	2675 g.	13675 g.
20	450 g.		15900 g.	2528 g.	12922 g.
21	450 g.		16400 g.	2610 g.	13340 g.
22	450 g.		16500 g.	2626 g.	13424 g.
23	450 g.		16800 g.	2675 g.	13675 g.
24	450 g.		17900 g.	2855 g.	14595 g.
25	450 g.		4580 g.	676 g.	3454 g.
26	0 g.		0 g.	0 g.	0 g.
27	0 g.		0 g.	0 g.	0 g.
				<b>TOTAL:</b>	320.771 g.
Total de Resíduo Retido na Peneira:		<b>15.600 g.</b>			
Total de Solo Descontando Resíduos:		305.171 g.			
Percentual Real de Cimento:		13,11%		(em <b>negrito</b> , campos lançados manualmente)	

## APÊNDICE B - UMIDADE NATURAL SOLO (MICRO-ONDAS)



## APÊNDICE C - UMIDADE DA MISTURA (MICRO-ONDAS)



## APÊNDICE D - CÁLCULO TONELADAS COMPACTAÇÃO

Força de compactação = Pressão da Bomba x Área do êmbolo

Diâmetro Pistão Compactador: 11,43cm

Área do êmbolo:  $5,715^2 \times 3,14 = 102,55 \text{ cm}^2$

Pressão da Bomba: 150 bar = 1500 N/cm<sup>2</sup>

$1500 \times 102,55 = 153.825 \text{ N/cm}^2 = (*) 15.382 \text{ Kg/cm}^2 = (**) 15,4\text{t.} \times 0,80 \text{ (eficiência)} = 12,3 \text{ Toneladas}$

(\*) Conversão N/cm<sup>2</sup> p/ Kg/cm<sup>2</sup>

(\*\*) Conversão Kg/cm<sup>2</sup> p/ toneladas

Força de Compactação Nominal = 15,4 Toneladas

Força de Compactação Efetiva = 12,3 Toneladas (coeficiente de eficiência de projeto: 80%).

## APÊNDICE E – CRONOGRAMA ROMPIMENTO CORPOS DE PROVA

DATA	HORA	DESCRIÇÃO	STATUS
25/03/21	11:00	Entrada Matéria-prima Estoque	OK
01/04/21	14:00	Produção das Amostras	OK
08/04/21	07:00	Seleção e Pesagem das Amostras da Coluna I	OK
08/04/21	07:30	Imersão das Amostras em Água	OK
08/04/21	13:20	Deslocamento das Amostras até o Laboratório	OK

08/04/21	13:30	Secagem superficial da Amostra S1 c/ pano levemente umedecido	OK
08/04/21	13:31	Pesagem da Amostra Saturada S1	OK
08/04/21	13:34	Rompimento da Amostra S1	OK
08/04/21	13:35	Secagem superficial da Amostra S2 c/ pano levemente umedecido	OK
08/04/21	13:36	Pesagem da Amostra Saturada S2	OK
08/04/21	13:40	Rompimento da Amostra S2	OK
08/04/21	13:41	Secagem superficial da Amostra S3 c/ pano levemente umedecido	OK
08/04/21	13:42	Pesagem da Amostra Saturada S3	OK
08/04/21	13:45	Rompimento da Amostra S3	OK
08/04/21	13:50	Rompimento das Amostras Não Saturadas A1, A2, A3	OK
08/04/21	14:00	Lançamento das Anotações na Planilha	OK
15/04/21	07:00	Seleção e Pesagem das Amostras da Coluna II	OK
15/04/21	07:30	Imersão das Amostras em Água	OK
15/04/21	13:20	Deslocamento das Amostras até o Laboratório	OK
15/04/21	13:30	Secagem superficial da Amostra T1 c/ pano levemente umedecido	OK
15/04/21	13:31	Pesagem da Amostra Saturada T1	OK
15/04/21	13:34	Rompimento da Amostra T1	OK
15/04/21	13:35	Secagem superficial da Amostra T2 c/ pano levemente umedecido	OK
15/04/21	13:36	Pesagem da Amostra Saturada T2	OK
15/04/21	13:40	Rompimento da Amostra T2	OK
15/04/21	13:41	Secagem superficial da Amostra T3 c/ pano levemente umedecido	OK
15/04/21	13:42	Pesagem da Amostra Saturada T3	OK
15/04/21	13:45	Rompimento da Amostra T3	OK
15/04/21	13:50	Rompimento das Amostras Não Saturadas B1, B2, B3	OK
15/04/21	14:00	Lançamento das Anotações na Planilha	OK
22/04/21	07:00	Seleção e Pesagem das Amostras da Coluna III	OK
22/04/21	07:30	Imersão das Amostras em Água	OK
22/04/21	13:20	Deslocamento das Amostras até o Laboratório	OK
22/04/21	13:30	Secagem superficial da Amostra U1 c/ pano levemente umedecido	OK
22/04/21	13:31	Pesagem da Amostra Saturada U1	OK
22/04/21	13:34	Rompimento da Amostra U1	OK
22/04/21	13:35	Secagem superficial da Amostra U2 c/ pano levemente umedecido	OK
22/04/21	13:36	Pesagem da Amostra Saturada U2	OK
22/04/21	13:40	Rompimento da Amostra U2	OK
22/04/21	13:41	Secagem superficial da Amostra U3 c/ pano levemente umedecido	OK
22/04/21	13:42	Pesagem da Amostra Saturada U3	OK
22/04/21	13:45	Rompimento da Amostra U3	OK
22/04/21	13:50	Rompimento das Amostras Não Saturadas C1, C2, C3	OK
22/04/21	14:00	Lançamento das Anotações na Planilha	OK

29/04/21	07:00	Seleção e Pesagem das Amostras da Coluna IV	OK
29/04/21	07:30	Imersão das Amostras em Água	OK
29/04/21	13:20	Deslocamento das Amostras até o Laboratório	OK
29/04/21	13:30	Secagem superficial da Amostra V1 c/ pano levemente umedecido	OK
29/04/21	13:31	Pesagem da Amostra Saturada V1	OK
29/04/21	13:34	Rompimento da Amostra V1	OK
29/04/21	13:35	Secagem superficial da Amostra V2 c/ pano levemente umedecido	OK
29/04/21	13:36	Pesagem da Amostra Saturada V2	OK
29/04/21	13:40	Rompimento da Amostra V2	OK
29/04/21	13:41	Secagem superficial da Amostra V3 c/ pano levemente umedecido	OK
29/04/21	13:42	Pesagem da Amostra Saturada V3	OK
29/04/21	13:45	Rompimento da Amostra V3	OK
29/04/21	13:50	Rompimento das Amostras Não Saturadas D1, D2, D3	OK
29/04/21	14:00	Lançamento das Anotações na Planilha	OK
30/04/21	14:30	Seleção das Amostras para Rompimento em Laboratório acreditado	OK
30/04/21	15:00	Embarcar para Transporte 10 unidades das 4 Colunas aleatoriamente	OK
30/04/21	17:00	Despachar na Transportadora	OK
		Aguardar Laudo do Laboratório acreditado	~
06/05/21	07:00	Seleção Aleatória de Amostras das Quatro Colunas	OK
06/05/21	07:30	Imersão das Amostras em Água	OK
06/05/21	13:20	Deslocamento das Amostras até o Laboratório	OK
06/05/21	13:30	Secagem superficial da Amostra X1 c/ pano levemente umedecido	OK
06/05/21	13:31	Pesagem da Amostra Saturada X1	OK
06/05/21	13:34	Rompimento da Amostra X1	OK
06/05/21	13:35	Secagem superficial da Amostra X2 c/ pano levemente umedecido	OK
06/05/21	13:36	Pesagem da Amostra Saturada X2	OK
06/05/21	13:40	Rompimento da Amostra X2	OK
06/05/21	13:41	Secagem superficial da Amostra X3 c/ pano levemente umedecido	OK
06/05/21	13:42	Pesagem da Amostra Saturada X3	OK
06/05/21	13:45	Rompimento da Amostra X3	OK
06/05/21	13:50	Rompimento das Amostras Não Saturadas E1, E2, E3	OK
06/05/21	14:00	Lançamento das Anotações na Planilha	OK
13/05/21	07:00	Seleção Aleatória de Amostras das Quatro Colunas	OK
13/05/21	07:30	Imersão das Amostras em Água	OK
13/05/21	13:20	Deslocamento das Amostras até o Laboratório	OK
13/05/21	13:30	Secagem superficial da Amostra X1 c/ pano levemente umedecido	OK
13/05/21	13:31	Pesagem da Amostra Saturada X1	OK
13/05/21	13:34	Rompimento da Amostra X1	OK
13/05/21	13:35	Secagem superficial da Amostra X2 c/ pano levemente umedecido	OK

13/05/21	13:36	Pesagem da Amostra Saturada X2	OK
13/05/21	13:40	Rompimento da Amostra X2	OK
13/05/21	13:41	Secagem superficial da Amostra X3 c/ pano levemente umedecido	OK
13/05/21	13:42	Pesagem da Amostra Saturada X3	OK
13/05/21	13:45	Rompimento da Amostra X3	OK
13/05/21	13:50	Rompimento das Amostras Não Saturadas E1, E2, E3	OK
13/05/21	14:00	Lançamento das Anotações na Planilha	OK
		Analisar Resultados Ensaio Expedito <i>versus</i> Laboratório Acreditado	OK

## APÊNDICE F – SATURAÇÃO CORPOS DE PROVA



**APÊNDICE G – RESULTADOS ROMPIMENTO CORPOS DE PROVA**

**A/S**



**B/T**



**C/U**



**D/V**



**E/X**

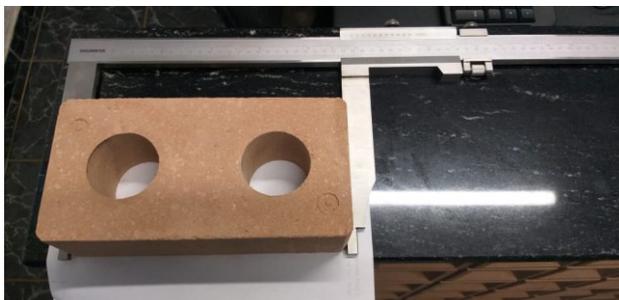


**F/Y**



## APÊNDICE H – PAQUÍMETRO DE AFERIÇÃO DAS DIMENSÕES

### Comprimento

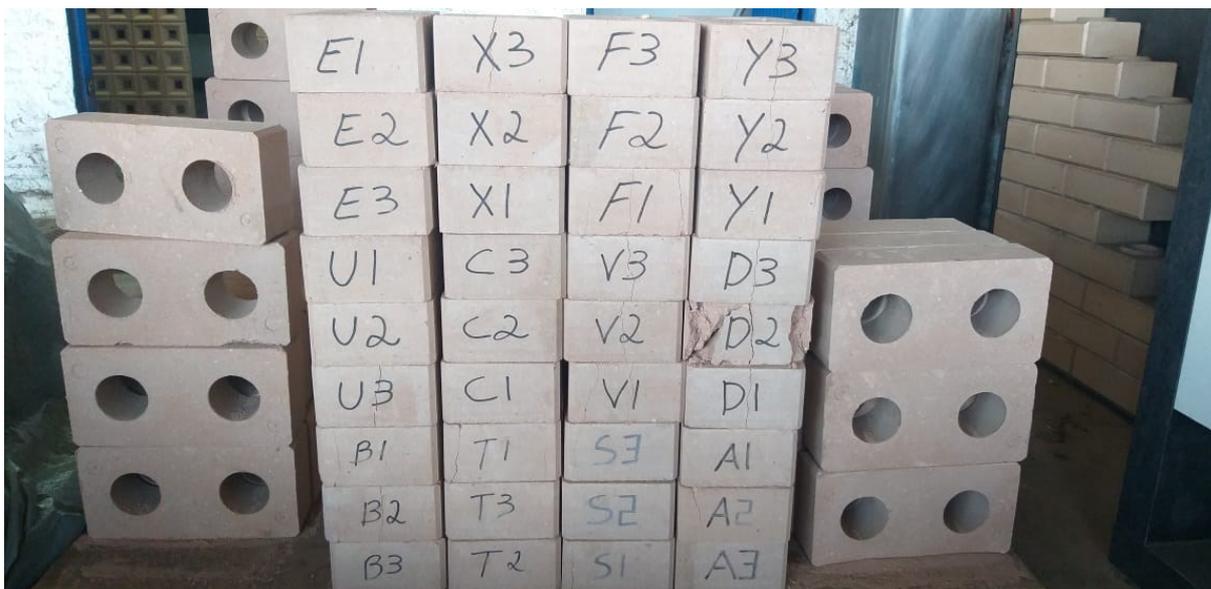


### Largura



### Altura



**APÊNDICE I – CORPOS DE PROVA ROMPIDOS****APÊNDICE J – DETALHE DO DANO NOS ROMPIMENTOS**

## APÊNDICE K – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 7 DIAS

### DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

<b>DATA PRODUÇÃO</b>	01/04/2021	<b>Espessura do Tijolo:</b>	7cm
<b>EMPRESA</b>	ALROMA		

<b>Material</b>	Tijolo solo-cimento	<b>Data Ensaio</b>	08/04/2021
<b>Tipo</b>	Tijolo vazado	<b>Identificação</b>	Coluna I
		<b>Idade</b>	<b>7 dias</b>

#### Peso das Amostras

Corpo de Prova	Massa (g)		
	c/ Umidade Natural	Saturado	Absorção
A1	3802	-	-
A2	3813	-	-
A3	3790	-	-
S1	3795	3856	1,61%
S2	3815	3870	1,44%
S3	3766	3832	1,75%

Média de Absorção de água: **1,60%**

#### Ensaio à compressão simples (matriz lisa - sem capeamento)

Corpo de Prova	Dimensões Tijolo (mm)		Área Plena (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
	Largura	Comprimento			
A1	125,00	250,00	31178	13530	4,26
A2	125,00	250,00	31178	13980	4,40
A3	125,00	250,00	31178	10350	3,26
S1	125,00	250,00	31178	8860	2,79
S2	125,00	250,00	31178	8060	2,54
S3	125,00	250,00	31178	8060	2,54

Média c/ Umidade Natural da Idade 3,97 MPa

Média Saturado 2,62 MPa

## APÊNDICE L – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 14 DIAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
DATA PRODUÇÃO	01/04/2021	Espessura do Tijolo:	7cm
EMPRESA	ALROMA		
Material	Tijolo solo-cimento	Data Ensaio	15/04/2021
Tipo	Tijolo vazado	Identificação	Coluna II
		Idade	14 dias

### Peso das Amostras

Corpo de Prova	Massa (g)		
	c/ Umidade Natural	Saturado	Absorção
B1	3747	-	-
B2	3763	-	-
B3	3789	-	-
T1	3777	3862	2,25%
T2	3755	3836	2,16%
T3	3812	3888	1,99%

Média de Absorção de água: **2,13%**

### Ensaio à compressão simples (matriz lisa - sem capeamento)

Corpo de Prova	Dimensões Tijolo (mm)		Área Plena (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
	Largura	Comprimento			
B1	125,00	250,00	31178	13410	4,22
B2	125,00	250,00	31178	11040	3,47
B3	125,00	250,00	31178	12770	4,02
T1	125,00	250,00	31178	9740	3,06
T2	125,00	250,00	31178	9060	2,85
T3	125,00	250,00	31178	8480	2,67

Média c/ Umidade Natural da Idade 3,90 MPa

Média Saturado 2,86 MPa

## APÊNDICE M – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 21 DIAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
DATA PRODUÇÃO	01/04/2021	Espessura do Tijolo:	7cm
EMPRESA	ALROMA		
Material	Tijolo solo-cimento	Data Ensaio	22/04/2021
Tipo	Tijolo vazado	Identificação	Coluna III
		Idade	<b>21 dias</b>

### Peso das Amostras

Corpo de Prova	Massa (g)		
	c/ Umidade Natural	Saturado	Absorção
C1	3554	-	-
C2	3636	-	-
C3	3554	-	-
U1	3636	3848	5,83%
U2	3627	3811	5,07%
U3	3642	3856	5,88%

Média de Absorção de água: **5,59%**

### Ensaio à compressão simples (matriz lisa - sem capeamento)

Corpo de Prova	Dimensões Tijolo (mm)		Área Plena (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
	Largura	Comprimento			
C1	125,00	250,00	31178	18500	5,82
C2	125,00	250,00	31178	19360	6,09
C3	125,00	250,00	31178	19560	6,15
U1	125,00	250,00	31178	13000	4,09
U2	125,00	250,00	31178	13760	4,33
U3	125,00	250,00	31178	10610	3,34

Média c/ Umidade Natural da Idade 6,02 MPa

Média Saturado 3,92 MPa

## APÊNDICE N – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 28 DIAS

### DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

<b>DATA PRODUÇÃO</b>	01/04/2021	<b>Espessura do Tijolo:</b>	7cm
<b>EMPRESA</b>	ALROMA		

<b>Material</b>	Tijolo solo-cimento	<b>Data Ensaio</b>	29/04/2021
<b>Tipo</b>	Tijolo vazado	<b>Identificação</b>	Coluna IV
		<b>Idade</b>	<b>28 dias</b>

#### Peso das Amostras

Corpo de Prova	Massa (g)		
	c/ Umidade Natural	Saturado	Absorção
D1	3554	-	-
D2	3608	-	-
D3	3563	-	-
V1	3586	3837	7,00%
V2	3562	3799	6,65%
V3	3596	3868	7,56%

Média de Absorção de água: **7,07%**

#### Ensaio à compressão simples (matriz lisa - sem capeamento)

Corpo de Prova	Dimensões Tijolo (mm)		Área Plena (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
	Largura	Comprimento			
D1	125,00	250,00	31178	22590	7,11
D2	125,00	250,00	31178	18810	5,92
D3	125,00	250,00	31178	22830	7,18
V1	125,00	250,00	31178	10010	3,15
V2	125,00	250,00	31178	10150	3,19
V3	125,00	250,00	31178	9030	2,84

Média c/ Umidade Natural da Idade	6,73	MPa
-----------------------------------	------	-----

Média Saturado	3,06	MPa
----------------	------	-----

## APÊNDICE O – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 35 DIAS

### DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

<b>DATA PRODUÇÃO</b>	01/04/2021	<b>Espessura do Tijolo:</b>	7cm
<b>EMPRESA</b>	ALROMA		

<b>Material</b>	Tijolo solo-cimento	<b>Data Ensaio</b>	06/05/2021
<b>Tipo</b>	Tijolo vazado	<b>Identificação</b>	aleatório das 4 colunas
		<b>Idade</b>	<b>35 dias</b>

#### Peso das Amostras

Corpo de Prova	Massa (g)		
	c/ Umidade Natural	Saturado	Absorção
E1	3562	-	-
E2	3583	-	-
E3	3533	-	-
X1	3493	3801	8,82%
X2	3556	3853	8,35%
X3	3523	3852	9,34%

Média de Absorção de água: **8,84%**

#### Ensaio à compressão simples (matriz lisa - sem capeamento)

Corpo de Prova	Dimensões Tijolo (mm)		Área Plena (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
	Largura	Comprimento			
E1	125,00	250,00	31178	25250	7,94
E2	125,00	250,00	31178	26370	8,29
E3	125,00	250,00	31178	25400	7,99
X1	125,00	250,00	31178	11420	3,59
X2	125,00	250,00	31178	11440	3,60
X3	125,00	250,00	31178	9260	2,91

Média c/ Umidade Natural da Idade 8,08 MPa

Média Saturado 3,37 MPa

## APÊNDICE P – RESULTADO ENSAIO EXPEDITO 42 DIAS

### DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

<b>DATA PRODUÇÃO</b>	01/04/2021	<b>Espessura do Tijolo:</b>	7cm
<b>EMPRESA</b>	ALROMA		

<b>Material</b>	Tijolo solo-cimento	<b>Data Ensaio</b>	13/05/20201
<b>Tipo</b>	Tijolo vazado	<b>Identificação</b>	aleatório das 4 colunas
		<b>Idade</b>	<b>42 dias</b>

#### Peso das Amostras

Corpo de Prova	Massa (g)		
	c/ Umidade Natural	Saturado	Absorção
F1	3620	-	-
F2	3522	-	-
F3	3586	-	-
Y1	3527	3835	8,73%
Y2	3535	3866	9,36%
Y3	3542	3853	8,78%

Média de Absorção de água: **8,96%**

#### Ensaio à compressão simples (matriz lisa - sem capeamento)

Corpo de Prova	Dimensões Tijolo (mm)		Área Plena (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kgf)	Resistência (MPa)
	Largura	Comprimento			
F1	125,00	250,00	31178	25540	8,03
F2	125,00	250,00	31178	22800	7,17
F3	125,00	250,00	31178	21530	6,77
Y1	125,00	250,00	31178	12390	3,90
Y2	125,00	250,00	31178	11120	3,50
Y3	125,00	250,00	31178	9430	2,97

Média c/ Umidade Natural da Idade 7,33 MPa

Média Saturado 3,45 MPa



## APÊNDICE R – LAUDO DE TERCEIRO

# concre-test

### TIJOLO DE SOLO - CIMENTO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

NBR 8492:2012

DIMENSÕES NOMINAIS: 250mm x 125mm x 70mm

RELATÓRIO DE ENSAIO N.º 29.781

CONTRATANTE :

ENDEREÇO :

OBRA :

ENDEREÇO :

CP N.º	NOTA FISCAL N.º	SEÇÃO MEDIDA DAS FACES DE TRABALHO (mm²)	CARGA APLICADA (N)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	CP N.º	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
01	Não Informada	15.589	193.500	12,4	8	14,1
02	Não Informada	15.588	194.270	12,5	9	13,7
03	Não Informada	15.538	197.150	12,7	10	13,6
04	Não Informada	15.600	196.550	12,6	--	--
05	Não Informada	15.660	195.050	12,5	--	--
06	Não Informada	15.721	193.450	12,3	--	--
07	Não Informada	15.616	194.995	12,5	--	--
<b>MÉDIA</b>				<b>12,5</b>	<b>--</b>	<b>13,8</b>
<b>LIMITES ESPECIFICADOS</b>				<b>Média ≥ 2,0</b> <b>Individual ≥ 1,7</b>	<b>Média ≤ 20</b> <b>Individual ≤ 22</b>	

1- DATA DO RECEBIMENTO DA AMOSTRA: 01/11/2018

2- FORNECEDOR: [REDACTED]

3- TAMANHO DO LOTE: NÃO DECLARADO

4- DATA DE FABRICAÇÃO: 16/10/2018

5- AMOSTRAGEM: REALIZADA PELO CONTRATANTE

6- IDENTIFICAÇÃO GRAVADA : --

7- DATA DO ENSAIO DE COMPRESSÃO: 17/11/2018

8- DATA DO ENSAIO DE ABSORÇÃO: 03/12/2018

7- ANÁLISE DOS RESULTADOS DE ACORDO COM A NORMA NBR 8491:2012

7.2- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO : A AMOSTRA ENSAIADA ATENDE A ESPECIFICAÇÃO

7.3- ABSORÇÃO: A AMOSTRA ENSAIADA ATENDE A ESPECIFICAÇÃO

FOTO:



Campinas, 04 de dezembro de 2.018

Wilson Gonzaga Martins  
Engenheiro Civil - CREA 0600516682

CONCRE-TEST CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA

RUA JORGE DE FIGUEIREDO CORRÊA, 1685 - CHÁCARA PRIMAVERA - CAMPINAS/SP - CEP: 13087-490 - TELEFONE: (19) 3756-1090

SITE: www.concretest.com

## APÊNDICE S – LAUDO DE TERCEIRO

# concre-test

### TIJOLO DE SOLO - CIMENTO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

NBR 8492:2012

DIMENSÕES NOMINAIS: 250mm x 125mm x 70mm

RELATÓRIO DE ENSAIO N.º 28.978

CONTRATANTE :

ENDEREÇO :

OBRA :

ENDEREÇO :

CP N.º	NOTA FISCAL N.º	SEÇÃO MEDIDA DAS FACES DE TRABALHO (mm²)	CARGA APLICADA (N)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	CP N.º	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
01	Não Informada	15.376	88.700	5,8	8	13,3
02	Não Informada	15.326	81.200	5,3	9	11,7
03	Não Informada	15.363	85.600	5,6	10	14,0
04	Não Informada	15.302	83.850	5,5	--	--
05	Não Informada	15.264	79.950	5,2	--	--
06	Não Informada	15.301	82.550	5,4	--	--
07	Não Informada	15.277	87.000	5,7	--	--
MÉDIA				5,5	--	13,0
LIMITES ESPECIFICADOS				Média ≥ 2,0 Individual ≥ 1,7	Média ≤ 20 Individual ≤ 22	

1- DATA DO RECEBIMENTO DA AMOSTRA : 14/06/2018

2- FORNECEDOR:

3- TAMANHO DO LOTE : NÃO DECLARADO

4- DATA DE FABRICAÇÃO: 16/05/2018

5- AMOSTRAGEM : REALIZADA PELO CONTRATANTE

6- IDENTIFICAÇÃO GRAVADA : -

7- DATA DO ENSAIO DE COMPRESSÃO: 25/06/2018

8- DATA DO ENSAIO DE ABSORÇÃO: 29/06/2018

7- ANÁLISE DOS RESULTADOS DE ACORDO COM A NORMA NBR 8491:2012

7.2- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO : A AMOSTRA ENSAIADA ATENDE A ESPECIFICAÇÃO

7.3- ABSORÇÃO : A AMOSTRA ENSAIADA ATENDE A ESPECIFICAÇÃO

FOTO:



Campinas, 29 de junho de 2018

Wilson Gonzaga Martins  
Engenheiro Civil - CREA 0600516682

CONCRE-TEST CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA

RUA JORGE FIGUEIREDO CORREA, 1685 - CH. PRIMAVERA - CAMPINAS - SP - CEP 13087-490 - TELEFONE (19) 3756 1090

e-mail: concretest@concretest.com.br

## APÊNDICE T – LAUDO DE TERCEIRO

# concre-test

### TIJOLO DE SOLO - CIMENTO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA

NBR 8492:2012

DIMENSÕES NOMINAIS: 250mm x 125mm x 70mm

RELATÓRIO DE ENSAIO N.º 31.634 / 2020

CONTRATANTE : [REDACTED]

ENDEREÇO : [REDACTED]

OBRA : [REDACTED]

ENDEREÇO : [REDACTED]

CP N.º	NOTA FISCAL N.º	SEÇÃO MEDIDA DAS FACES DE TRABALHO (mm²)	CARGA APLICADA (N)	TENSÃO DE RUPTURA (MPa)	CP N.º	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)
01	Não Informada	15.372	177.950	11,6	08	9,9
02	Não Informada	15.399	174.450	11,3	09	9,8
03	Não Informada	15.439	168.200	10,9	10	9,6
04	Não Informada	15.429	177.750	11,5	--	--
05	Não Informada	15.376	176.900	11,5	--	--
06	Não Informada	15.428	176.450	11,4	--	--
07	Não Informada	15.365	168.250	11,0	--	--
MÉDIA				11,3	--	9,8
LIMITES ESPECIFICADOS				Média ≥ 2,0 Individual ≥ 1,7	Média ≤ 20 Individual ≤ 22	

1- DATA DO RECEBIMENTO DA AMOSTRA: 31/01/2020

2- FORNECEDOR: [REDACTED]

3- TAMANHO DO LOTE: NÃO DECLARADO

4- DATA DE FABRICAÇÃO: 13/12/19

5- AMOSTRAGEM: REALIZADA PELO CONTRATANTE

6- IDENTIFICAÇÃO GRAVADA : --

7- DATA DO ENSAIO DE COMPRESSÃO: 08/02/2020

8- DATA DO ENSAIO DE ABSORÇÃO: 13/02/2020

7- ANÁLISE DOS RESULTADOS DE ACORDO COM A NORMA NBR 8491:2012

7.2- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO : A AMOSTRA ENSAIADA ATENDE A ESPECIFICAÇÃO.

7.3- ABSORÇÃO: A AMOSTRA ENSAIADA ATENDE A ESPECIFICAÇÃO.

FOTO:



Campinas, 17 de fevereiro de 2020

Wilson Gonzaga Martins  
Engenheiro Civil - CREA 0600516682

CONCRE-TEST CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA

RUA JORGE DE FIGUEIREDO CORRÊA, 1685 - CHÁCARA PRIMAVERA - CAMPINAS/SP - CEP: 13087-490 - TELEFONE: (19) 3756-1090

SITE: [www.concretest.com](http://www.concretest.com)

CON.169/0 - set/19

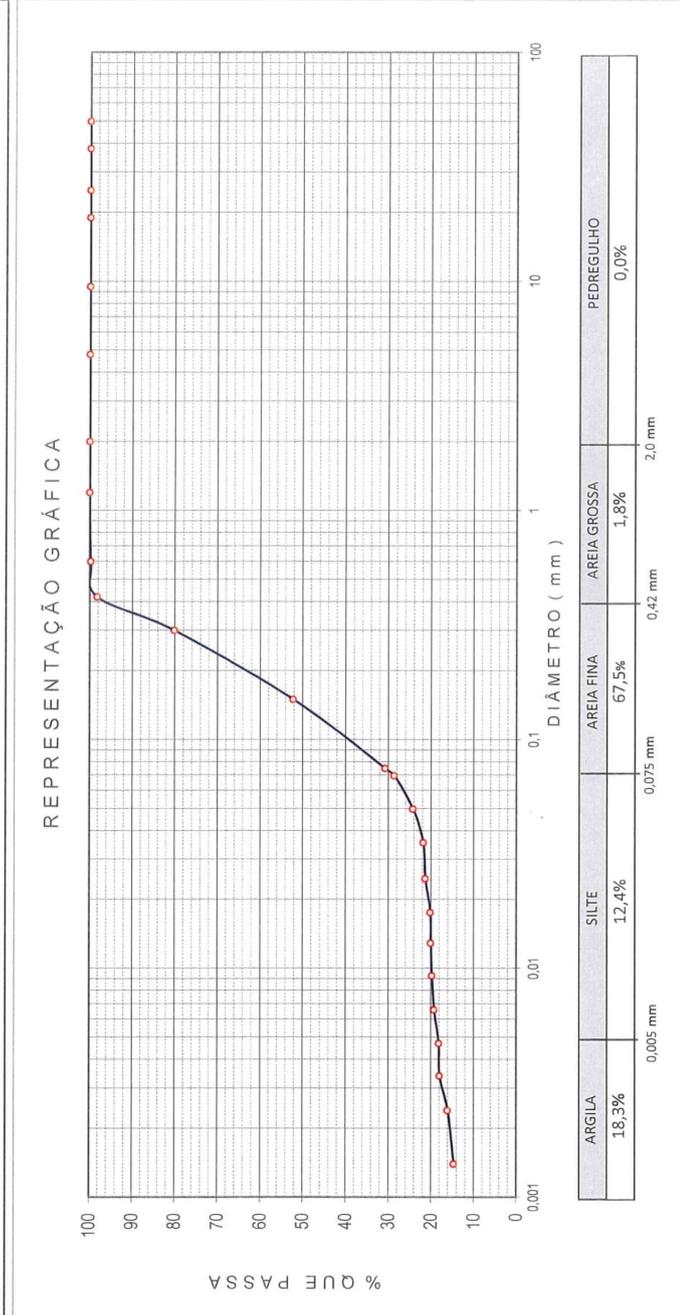
# APÊNDICE U – LAUDO ENSAIO SOLO - GRANULOMETRIA



**LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO**  
**CONTRATANTE** : IND. E COM. DE TIJOLOS ALROMA LTDA  
**ENDEREÇO** : RODOVIA PRC 280 KM 134 - TREVO CAIANGES - PALMAS - PR  
**PROCEDÊNCIA** : SOLO PRODUTO  
**ENDEREÇO** : RODOVIA PRC 280 KM 134 - TREVO CAIANGES - PALMAS - PR  
**RELATÓRIO N.º** 33.216 / 2.021

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS ABNT NBR 7181:2016

ABERTURA (mm)	% QUE PASSA
50	100,0
38	100,0
25	100,0
19	100,0
9,5	100,0
4,8	100,0
2,0	100,0
1,2	100,0
0,6	99,7
0,42	98,2
0,30	80,1
0,150	62,2
0,075	30,7
0,0637	28,6
0,0498	24,2
0,0355	21,8
0,0247	21,3
0,0176	20,1
0,0129	20,0
0,0083	19,7
0,0066	19,2
0,0047	18,1
0,0034	17,9
0,0024	16,0
0,0014	14,6
<b>MASSA ESPECÍFICA DOS GRÃOS DE SOLO ( g / cm<sup>3</sup> )</b>	
2,67	



**OBSERVAÇÕES:**  
 - DATA DE COLETA DA AMOSTRA : 28/01/2021  
 - IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA : REGISTRO N.º 37319 - AMOSTRA DE SOLO  
 - AS FRAÇÕES CONSTITUINTES DO SOLO, FORAM DEFINIDAS EM CONFORMIDADE COM O ESTABELECIDO NA MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO DO DNER / 2.006 ITEM 2.1.3 - DESCRIÇÃO DOS SOLOS  
 - ENSAIOS REALIZADOS DE ACORDO COM AS NORMAS ABNT NBR 7181:2016 e DNER ME 93/94

FOLHA N.º 01 / 01      DATA : 18 / 02 / 2021  
 WILSON GONZAGA MARTINS  
 Eng.º Civil CREA 0600516682

CONCRE-TEST CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA  
 RUA JORGE DE FIGUEIREDO CORREIA, 1685 - CHACARA PRIMAVERA - CAMPINAS/SP - CEP: 13067-450 - TELEFONE: (19) 3756-1090  
 SITE: www.concretest.com

# APÊNDICE V – LAUDO ENSAIO SOLO - LIMITE DE LIQUIDEZ



**LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO**  
 INTERESSADO : IND. E COM. DE TUIJOS ALROMA LTDA  
 ENDEREÇO : RODOVIA PRC 280 KM 134 - TREVO CAIANGANES - PALMAS - PR  
 OBRA : SOLO PRODUTO  
 ENDEREÇO : RODOVIA PRC 280 KM 134 - TREVO CAIANGANES - PALMAS - PR  
 Relatório N.º 33.217 / 2021

## QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO

DATA DA COLETA	REGISTRO INTERNO n.º	AMOSTRA n.º	LOCALIZAÇÃO	PROFUNDIDADE (m)	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS POR PENEIRAMENTO							ÍNDICES FÍSICOS (L. L. L.P. I.P. (%))	I.G.	CLAS. T.R.B.	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO						
					19	9.5	4.8	2.0	1.2	0.6	0.42				0.30	0.15	0.075	ENERGIA (g/cm²)	UMID. OT. (%)		
28/01/21	37319	01	AMOSTRA DE SOLO	--	100	100	100	100	100	99,7	80,1	52,2	30,7	NP	NP	NP	0	A-2-4	NORMAL	1,824	13,8

### OBSERVAÇÕES

- ENSAIOS REALIZADOS DE ACORDO COM OS MÉTODOS DE ENSAIOS PARA SOLOS:  
 - NBR 6459:2016 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ; NBR 7180:2016 DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE PLASTICIDADE; NBR 7181:2016 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS; NBR 7182:2016 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO;  
 - **EM ANEXO REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**

DATA: 18 / 02 / 2021

FOLHA n.º 01 / 01

WILSON GONZAGA MARTINS  
 Eng.º Civil CREA 0600516682

## APÊNDICE W – LAUDO ENSAIO SOLO - UMIDADE ÓTIMA

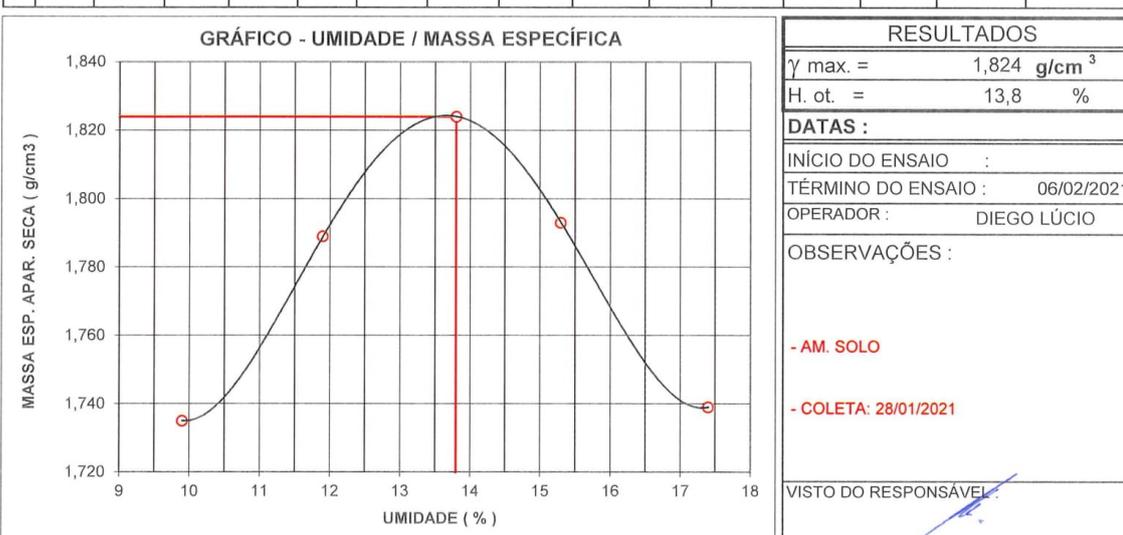
**concre-test**

LABORATÓRIO DE SOLOS E PAVIMENTAÇÃO	CONTRATANTE	: IND. E COM. DE TIJOLOS ALROMA LTDA	REG. 37319
	ENDEREÇO	: RODOVIA PRC 280 KM 134 - TREVO CAIGANGES - PALMAS - PR	
	OBRA	: SOLO PRODUTO	
	ENDEREÇO	: RODOVIA PRC 280 KM 134 - TREVO CAIGANGES - PALMAS - PR	

### ENSAIO DE COMPACTAÇÃO - NBR 7182/16

DADOS DO ENSAIO				DADOS DOS APARELHOS			
ENERGIA :	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Intermediária	<input type="checkbox"/> Modificada	SOQUETE N.º :			
N.º DE GOLPES / CAMADA :	26			CILINDRO N.ºs :			
N.º DE CAMADAS :	3						
AMOSTRA :	<input type="checkbox"/> Não Trabalhada		<input checked="" type="checkbox"/> Trabalhada				

P O N T O	CILINDRO	Peso do C.P. umido+ cilindro	Peso do cilindro	Volume do cilindro	Peso do C.P. umido	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE								Média Teor de umidade	Massa Específica Aparente Umida	Massa Específica Aparente Seca
						Capsula N.º	Peso bruto umido	Peso bruto seco	Tara da capsula	Peso da água	Peso do solo seco	Teor de umidade	Teor de umidade			
N.º	N.º	g	g	g	g	N.º	g	g	g	g	g	%	%	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	
HIGROSCÓPICA ( SOLO NATURAL )						449	101,64	96,16	26,34	5,5	69,82	7,8	7,9			
						115	84,92	80,50	24,42	4,4	56,08	7,9				
01	210	4296	2383	1003	1913	425	81,12	76,21	25,89	4,9	50,32	9,8	9,9	1,907	1,735	
						308	80,70	75,31	21,05	5,4	54,26	9,9				
02	210	4391	2383	1003	2008	488	67,96	63,51	25,77	4,5	37,74	11,8	11,9	2,002	1,789	
						190	80,26	74,05	21,94	6,2	52,11	11,9				
03	210	4465	2383	1003	2082	088	78,52	72,32	27,47	6,2	44,85	13,8	13,8	2,076	1,824	
						412	76,68	70,48	25,50	6,2	44,98	13,8				
04	210	4456	2383	1003	2073	206	82,30	74,42	22,84	7,9	51,58	15,3	15,3	2,067	1,793	
						238	86,23	77,70	21,93	8,5	55,77	15,3				
05	210	4430	2383	1003	2047	355	73,70	66,01	21,63	7,7	44,38	17,3	17,4	2,041	1,739	
						434	72,62	65,72	25,98	6,9	39,74	17,4				
06																



CONCRE-TEST CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA

RUA JORGE DE FIGUEIREDO CORRÊA, 1685 - CHÁCARA PRIMAVERA - CAMPINAS/SP - CEP: 13087-490 - TELEFONE: (19) 3756-1090

SITE: [www.concretest.com](http://www.concretest.com)

**APÊNDICE X – ROTEIRO DE PERGUNTAS ENTREVISTAS****ROTEIRO ENTREVISTAS**

- Quantos anos faz que você trabalha com a produção de tijolos solo-cimento?
- Quais as funções que você já ocupou na empresa?
- Quais as principais dificuldades para produção de tijolos no início da empresa?
- Como era a produção no sistema convencional?
- Como era preparado/secado o solo?
- A prensa daquela época permitia trabalhar com solo úmido?
- Qual era a produção média por dia ou por semana daquela época no método convencional?
- O processo sem o multiprocessador, como era?
- Sem o multiprocessador, quanto água consumia por batelada?
- Qual era o percentual médio de umidade para a prensa convencional da época?
- Como era armazenado os tijolos após a prensa convencional?
- Quanto tempo era necessário para ser paletizado?
- Como era o serviço de molhar tijolos? Quanta água mais ou menos consumia para mil tijolos?
- Sábado e domingos alguém precisava molhar também?
- Esse trabalho todo encarecia o custo do produto, mas fora isso, a qualidade do produto era semelhante a de hoje? Qual era a média de MPa dos produtos do método convencional?
- Quais os principais ganhos do novo método?
- Você considera o método atual mais eficaz?
- Com qualquer máquina é possível trabalhar no método de embalagem direta e cura sem molha?
- Você poderia me mostrar o processo de produção explicando passo a passo?
- O processo atual se encontra fora da ordem sugerida pelas normas, como você vê isso?
- Qual é o fim dado aos resíduos retidos na peneira do multiprocessador?
- Como descobriram que não precisava mais molhar os tijolos?
- Já que tornaram a paletização direta possível, é possível automatizar a paletização?
- Diante de tanta evolução no chão de fábrica, hoje a produção de tijolos é considerada mais viável?
- Além de eliminar o processo de molha na cura, o maior consumo de materiais reciclados também é uma vertente a ser explorada?

## APÊNDICE Y – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA 1

**Entrevista 1**

**Data:** 04/05/2021

**Nome:** Marcelo Restelli **Idade:** 28 anos **Formação:** Especialista em Psicologia

**Cargo:** Sócio e co-fundador da empresa Alroma

**Experiência:** Produção, Marketing, Modulação de Projetos, RH e Planejamento Estratégico

**Link do áudio:** <https://youtu.be/45JQxB8eHhk>

### Transcrição

**Pesquisador:** *Marcelo, quantos anos fazem que você trabalha com a produção de tijolos solo-cimento e em quais funções você atuou e atua na empresa hoje?*

**Entrevistado 1:** *Comecei em 2005, inicialmente trabalhava retirando os tijolos da máquina, depois operando a prensa manual, trabalhei na mistura, enfim, toda a parte de produção. Hoje trabalho na modulação de projetos, marketing e planejamento estratégico para as decisões aqui.*

**Pesquisador:** *Quais as principais dificuldades para produção dos tijolos no início da empresa?*

**Entrevistado 1:** *No início as principais dificuldades estavam relacionadas (muitas dificuldades na verdade), tinha a questão da mistura, não era bem feita, todo o processo era artesanal, tudo manual. Nós tínhamos muitas pessoas trabalhando conosco, ocorrendo avarias nas misturas, com muitos erros humanos no processo. Tinha uma particularidade da nossa região que chove muito aqui então, em épocas de inverno, nas épocas de chuva, nós não conseguíamos prensar os tijolos. A gente precisava secar, esparramava a terra numa área que pegava sol, em ocasiões até fazer fogo pra secar a terra indo contra a ideia do tijolo ecológico. O tijolo era muito*

*frágil também, tinha que pegar com cuidado, tinha uma técnica certa pra pegar o tijolo, posicionar no pallet.*

**Pesquisador:** *Você fala que secava o solo no tempo com o sol, mas por quê?*

**Entrevistado 1:** *Quando prensava com o solo muito molhado, grudava tudo, tanto nas máquinas de triturar, peneirar. Pra começar não peneirava, não passava pra baixo a terra. Na hora que ia triturar grudava em todas as bordas do triturador. Na hora que chegava na prensa, na época não tinha aquecimento, nada dessas coisas que tem hoje, então, a gente usava algum tipo de lubrificante nas matrizes da prensa. Quanto a terra vinha muito molhada, tinha que ficar limpando muitas vezes ali, e aí, mesmo limpando grudava muito. E ainda, tinha a prensagem, que não acontecia da mesma forma, porque quando a terra ta mais molhada, ela fica mais densa e ocupa mais espaço e você puxava o solo pela gaveta da maquininha manual e ela não caía dentro porque ela empelotava ali na gaveta e quando caía tinha que puxar mais uma vez, várias vezes, pra você sentir que a máquina deu pressão ali na prensagem.*

**Pesquisador:** *Isso tudo dificultava a produção, não é? E a média de produção diária dessa época era quanto?*

**Entrevistado 1:** *Diariamente era, no máximo mil diariamente, no máximo assim, em um dia bem trabalhado a gente fazia mil tijolos. Começando cedo, fazendo tudo organizado, sem dar nada errado. Só que isso é um dia, no dia seguinte já tinha alguém mais cansado, já tinha o fator humano ali intervindo para a continuidade da produção normal.*

**Pesquisador:** *Quantas pessoas eram necessárias ali nesse processo e como eram as fases desse método convencional?*

**Entrevistado 1:** *Eram aproximadamente dez pessoas no processo. Então, uma pessoa ficava responsável por fazer a secagem desse solo, que era uma coisa bem trabalhosa, bastante dificultosa, porque ela precisava pegar do monte de terra, pequenas porções desse solo, espalhar no sol e ficar durante todo dia remexendo*

*esse solo para a umidade evaporar naturalmente. Porém, nas épocas de chuva, é muito comum não ter o sol, então, nessas ocasiões era necessário fazer uma chapa de metal e fazer uma fogueira embaixo. O solo ia em cima dessa chapa de metal, e o cidadão (colaborador) misturando o solo em cima dessa chapa pra evaporando com o calor do fogo. Então, depois de fazer essa secagem o segundo colaborador triturava o solo que ia pra uma peneira, que precisa mais uma pessoa. Depois de peneirado, o próximo passo uma pessoa ia fazer a mistura desse solo com o cimento, então ele espalhava esse solo no chão, e com uma pá (enxada) puxa pra um lado, puxa pro outro até que visualmente se torne homogêneo esse solo. Então ele passava em um triturador novamente, pra melhorar essa mistura e ia novamente pra peneira. A peneira fazia o serviço, onde tinha mais um operador nela e aí vai pra uma prensa. Na prensa tem dois operadores, um operando a máquina e outro acomodando os tijolos no chão pra cura. Aí é a parte da produção. Anexo a isso, tinha mais uma pessoa, molhando a produção dos dias anteriores pra fazer a cura e mais uma pessoa pegando os tijolos que já estavam duro, já estão seco ali no sétimo dia mais ou menos e montando paletes para poder possibilitar a entrega dos tijolos. A gente precisava fazer isso porque, os tijolos muito frágeis quando saiam da prensa não dava pra empilhar diretamente no pallet. A gente não podia erguer várias camadas de tijolos nesse palete porque eles quebravam, então a gente precisava erguer quatro tijolos assim, um em cima do outro no chão e quando eles estivessem duros, bem firmes aí sim paletizar com até seis, oito de altura. Essa pessoa fazia a embalagem ali no palete e posteriormente ia pra transporte. No caso do transporte alguém precisava parar sua função ou precisava contratar mais alguém externo pra dispor os tijolos ali no caminhão na hora de enviar.*

**Pesquisador:** *A pessoa que molhava os tijolos, ficava o dia inteiro molhando tijolos?*

**Entrevistado 1:** *Não. No caso, na época, essa função quem fazia era o meu pai. Basicamente é uma pessoa “coringa”, ela vai molhar os tijolos, auxiliar no carregamento dos tijolos, auxiliar em algum processo que está precisando de ajuda ali no momento, então ficava rodeando ali a fábrica em busca de algo pra auxiliar.*

**Pesquisador:** *Uma manutenção ou outra...*

**Entrevistado 1:** *É, isso aí.*

**Pesquisador:** *Mais ou menos quanta água era consumida nessa fase de molha?*

**Entrevistado 1:** Na verdade a gente não tem um dado específico. Também não me recordo a quantidade exata de água que era usada. Mas para se ter uma ideia, acho que da pra imaginar, a gente usava uma mangueira com uma ponta, na ponta dela, um chuveiro. Então, pra fazer essa molha, pra dispersar bem a gente usava essa mangueira de chuveiro, então da pra imaginar assim, cada vez, por dia, uma hora de um chuveiro ligado por dia, imaginamos assim, pega o consumo de água de um chuveiro, ligado na abertura normal dele, três vezes por dia, sete dias por semana.

**Pesquisador:** *Sábado e domingo tinha que molhar também? Ou molhava só na segunda-feira?*

**Entrevistado 1:** *Não, tinha que ter alguém pra molhar no sábado e domingo. Alguém tinha que fazer esse serviço. No caso, quando não podia ser colaborador, nos feriados, domingos, ia alguém de nós da família pra manter a cura acontecendo.*

**Pesquisador:** *Depois que molhou os sete dias, o tijolo ia direto pro palete? Como era?*

**Entrevistado 1:** *A partir do sétimo dia a gente começava a paletizar isso aí, mas dependia muito da demanda por tijolos, então, as vezes paletizava com sete, as vezes com quatorze. Naquela época, no caso, quanto mais demorasse melhor, porque quanto mais demorasse pra paletizar mais firme estava o tijolo, menos risco de acontecer alguma quebra, alguma coisa assim, no momento da paletização. Mas na maioria das vezes o tijolo já estava firme o suficiente no sétimo dia.*

**Pesquisador:** *Então tinha todo um trabalho braçal ali de pegar o tijolo no chão e passar pro palete? Repaletizar?*

**Entrevistado 1:** *Isso aí. Tanto que o pai nesse tempo aí também, desenvolveu uma ferramenta, um tridente pra facilitar um pouco esse trabalho aí, que além do esforço físico, o atrito do tijolo ali com as mãos ele causava até machucados no pessoal que trabalhava com ele.*

**Pesquisador:** *O que você definiria como ponto chave pra essa evolução que tiveram?*

**Entrevistado 1:** *Primeiramente foi a invenção pelo meu pai ali, do multiprocessador, que é uma máquina que faz três, quatro funções, ali sozinha. Então ele faz a dosagem, tritura, peneira, mistura tudo, tudo numa máquina só. O primeiro ponto foi esse, que só ali, foi possível dispensar, podemos dizer assim, umas cinco pessoas. Isso possibilitou a gente a continuar crescendo fabricando tijolos. Mas posteriormente tiveram várias coisas que a gente foi aprimorando na técnica também e mais tarde veio a prensa. Quando a gente desenvolveu a prensa possibilitou trabalhar com material extremamente molhado, né, não precisando mais secar o solo, eliminando várias partes ali da produção. Poderia uma pessoa só operar essa prensa, então, basicamente, ao final aí, ficou duas pessoas. Uma no multiprocessador abastecendo ali com o solo e cimento e uma pessoa já paletizando preparando o palete pra transporte.*

**Pesquisador:** *Você saberia informar o percentual de umidade ideal da prensa convencional da época?*

**Entrevistado 1:** *Não me recordo exatamente, mas era bastante seco, muito seco. Pra ter uma noção de comparação assim, hoje, com as máquinas atuais aqui a gente trabalha na faixa de 15%, mais ou menos, de umidade. Eu acredito que tendo isso aí como referência na época, a umidade que a gente trabalhava na época devia ser de sete pra baixo. Mas isso aí tem que avaliar cada solo, tem que avaliar a melhor umidade pra se trabalhar.*

**Pesquisador:** *A qualidade do produto era semelhante da atual? Qual era a média de resistência dos tijolos no método convencional da época?*

**Entrevistado 1:** *A qualidade bem inferior, bastante inferior. Antigamente tanto em questão de resistência, quanto na questão de acabamento é consideravelmente inferior. Hoje a gente tem uma qualidade bem melhor de, tanto de acabamento quanto de resistência.*

**Pesquisador:** *A média de resistência da época? Recorda?*

**Entrevistado 1:** *A média de resistência da época em torno 2 MPa, 2,5MPa e hoje tá de cinco pra cima.*

**Pesquisador:** *Todos os lotes que são produzidos eles são aferidos em laboratório?*

**Entrevistado 1:** *Não. A gente afere em laboratório uma amostra, conforme a extração da matéria-prima. Então, a partir do momento que a gente define uma matéria-prima, checando a porcentagem de areia, de argila que ela tem, faz a mistura e faz o laudo do tijolo. Posteriormente só faz o laudo quando ocorre a troca da matéria-prima, ou quando percebe que ela não tá no mesmo padrão do que aquela que foi feito o laudo inicialmente. A gente também faz a avaliação dos tijolos quando percebe que tá ocorrendo alguma avaria no tijolo, alguma coisa no acabamento, coisa assim, e periodicamente, então, anualmente, como forma preventiva daí né, de manter. Mas se fosse possível a cada carga, a cada lote que é entregue a gente poder aferir com certeza isso seria feito. Isso só não é feito hoje devido ao tempo que leva né, porque a gente precisa enviar isso pra um laboratório, então isso demora até chegar no laboratório, também custa né, tem um custo significativo pra fazer isso. Então se torna inviável ficar testando todos os, todos os, as amostras.*

**Pesquisador:** *Quais as principais vantagens desse novo método em avaliação?*

**Entrevistado 1:** *Acredito que o principal ponto a ganhar, que a gente tem, é o tempo, que antes nós precisávamos ficar repaletizando tijolos e agora assim que o tijolo já sai da prensa ele já forma o palete ele já tá pronto pra transportar, é só ele descansar pra curar. Também eu acho que a parte do consumo de água que era gasto né, antigamente, hoje não tem mais esse gasto de ficar molhando os tijolos. A mão de*

*obra de molhar os tijolos também não existe mais. E no fim das contas como resultado a gente percebeu a melhora da resistência, do acabamento né, tudo isso aí, a diminuição da porosidade e a diminuição da absorção de água.*

**Pesquisador:** *Você considera o método atual mais eficaz?*

**Entrevistado 1:** *Sim, pelo retrabalho que não é mais necessário, a facilidade, a produção deixou de ser uma coisa artesanal, passou a ser uma coisa industrial. A gente conseguiu reduzir custos isso, a gente conseguiu o custo do produto também. Antigamente era muito caro produzir o tijolo e a qualidade baixa. Então era muito difícil conseguir manter um produto competitivo dessa forma. Então agora a gente consegue vender muito mais, tem muito mais gente interessada no produto, as pessoas têm confiança no produto, ele passa credibilidade quando alguém pega ele ou visualmente mesmo. É perceptível o acabamento melhor e tudo mais, então a pessoa ela fica já deslumbrada pelo acabamento, isso torna a negociação, a venda muito mais fácil. E enfim, todos os aspectos da produção facilitou, menos custos com pessoas. O trabalho das pessoas também, mais leve, então evitou várias questões de desgaste físico, problemas físicos aí com funcionários, então a pessoa consegue ter um trabalho mais digno dessa forma. Consegue manter um padrão de qualidade que não depende mais tanto das pessoas ficar cuidando. A máquina consegue oferecer uma qualidade por conta própria.*

**Pesquisador:** *A embalagem direta e a cura sem molha é possível fazer com qualquer outro tipo de máquina?*

**Entrevistado 1:** *Eu não acredito que seja possível, porque as máquinas que nós temos hoje são adaptadas pra trabalhar com material extremamente úmido, pra você poder evitar de colocar mais água. Então, quando utilizávamos as máquinas antigamente, se a gente usasse esse padrão de umidade que usamos hoje o tijolo grudava na máquina, o acabamento não ficava bom. Então, talvez até alguém se aventure a fazer tijolo, sem molhar e tudo mais, mas vai acabar deixando alguma coisa de lado, ou a própria resistência, ou vai tá lidando com dificuldades na hora de produzir o tijolo.*

**Pesquisador:** *Você poderia me mostrar o processo de produção explicando passo a passo?*

**Entrevistado 1:** *Então, é, se eu pedir terra hoje, por exemplo, tá chovendo aqui. Se a gente pedir terra hoje, a terra vai chegar aí amanhã e eu vou conseguir trabalhar com ela perfeitamente. Ela vai tá bem, bastante molhada né, mas eu consigo trabalhar com ela, coisa que antigamente não era possível, eu ia ter que secar como eu falei pra você anteriormente. Tá então ali foi o seguinte, pra iniciar a produção, duas pessoas. Primeira pessoa, ela vai ficar aqui no multiprocessador, ela pega a empilhadeira com a concha, enche de terra, colhe a terra aqui e despeja no “skip” do multiprocessador.*

**Pesquisador:** *Então o operador do multiprocessador também opera a empilhadeira?*

**Entrevistado 1:** *Isso, a mesma pessoa ela consegue trabalhar simultaneamente nos dois equipamentos. Então ele carregou o “skip” ali, vai no quadro de comando lá com o apertar de um botão, essa dosagem... ah antes disso, ele tem que colocar o cimento na mistura, então o “skip” ele tem já a dosagem já certa pra um saco de cimento, néh então, ou 40kg ou 50kg, então você vai encher ele até o topo, vai passar uma régua pra nivelar a quantia de terra e adicionar um saco de cimento. Então você vai lá no quadro de comando, a pessoa vai até o quadro de comando do multiprocessador, aperta um botão, e esse “skip” vai subir até abastecer o cilindro do multiprocessador.*

**Pesquisador:** *Você chama de “skip” essa concha que vai o material dentro?*

**Entrevistado 1:** *Isso, isso, essa que vem até o chão e sobe até lá no alto. Então encheu o cilindro aqui com o skip, dentro desse cilindro tem um rotor que ele destorroa a terra e faz a mistura, faz a mistura do solo com o cimento. Então fecha a tampa ali, e com o apertar de outro botão ele vai começar a girar e o rotor interno vai gira também. Esse cilindro, ele tem o revestimento antiaderente, o skip também tem o revestimento antiaderente pra o material molhado não gruda. Então ele vai ficar girando ali cerca de 2 a 3 minutos. Quando tiver dado esse tempo aproximadamente, o operador vai parar, vai abrir, é feita uma checagem da umidade, manualmente*

*mesmo, pra ver se precisa colocar mais água, ou não se ela já está adequada (interrompido por um alarme), desculpe, era o alarme, então vai fazer o teste da umidade ali e daí vai peneirar o solo, com o apertar de outro botão ele vai ligar a peneira e derrubar o solo que estava dentro do cilindro, o solo já misturado com o cimento. Abaixo ali do multiprocessador já tem a esteira mandando esse solo pronto pra prensa. Aqui termina a parte desse operador, então ele faz, ao ele mandar o solo pra prensa ele já vai voltar novamente lá pra empilhadeira abastecer tudo de novo e vai repetir o processo. Enquanto isso outro operador na prensa, vai ligar a prensa, vai botar ela “rodar” (iniciar o ciclo). Faz os pequenos ajustes ali que precisa de quantidade de terra, liga as resistências que aquecem pra não, que evitam que o solo grude. A prensa também tem o antiaderente, também tem outras adaptações, e aí vai começar a prensar os tijolos automaticamente, ela abastece ali, e faz a prensagem, e o tijolo vai saindo pronto ali pela esteirinha da prensa. Esse operador, o trabalho dele vai ser basicamente, monitorar como a prensa tá trabalhando, se está ocorrendo tudo ok, se todos os processos estão ok e vai avaliar se ela está prensando ok, e vai acomodar os tijolos no pallet. Daí tem a mesa rotatória né que, evita que ele fica caminhando, que ele fique se abaixando até embaixo, até no chão né, pra acomodar os tijolos. Então ele faz o palete. Quando o palete está pronto, aquele operador que está no multiprocessador e na empilhadeira ele vem, “estrecha” o palete, envolve com o plástico né, retira o palete e acomoda no estoque. Esse tijolo vai ficar aí, três dias, no terceiro dia você já consegue transportar ele grandes distâncias sem problema nenhum. Eu acho que é isso.*

**Pesquisador:** *Ok! Muito bem, obrigado! Obrigado Marcelo!*

## APÊNDICE Z – TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA 2

**Entrevista 2**

**Data:** 07/05/2021

**Nome:** Deomir Restelli    **Idade:** 69 anos    **Formação:** Mecânica (autodidata)

**Cargo:** Sócio e fundador da empresa Alroma

**Experiência:** Mecânica Diesel, Produção, Engenharia, Pesquisa e Desenvolvimento, Projeto e Execução de Máquinas, Supervisão de Produção e Assistência Técnica de Instalação e Treinamento de Utilização de Máquinas solo-cimento.

**Link áudio:** <https://youtu.be/Q2jcS7D8iL4>

### Transcrição

**Pesquisador:** *Deomir, você veio de outro ramo, da mecânica diesel. Por que essa guinada da mecânica diesel para a produção de tijolos?*

**Entrevistado 2:** *Porque eu vi em primeiro lugar uma atividade nova e acreditando que ela se expandiria rapidamente, enquanto que na minha atividade da mecânica, eu estava tendo muitas dificuldades pra manter o quadro de funcionários, que, por sua vez tem o custo muito elevado. E vi no tipo de trabalho do tijolo, um negócio de baixo risco, comparando com o da mecânica. É uma atividade com o mesmo lucro final, e com menos risco de perda.*

**Pesquisador:** *Perda financeira você se refere?*

**Entrevistado 2:** *É, Financeira. E até mesmo comparando, um mecânico ele vai montar um motor ou um câmbio, ele errando, o custo é muito alto, e o desgaste também é muito grande. Então, é melhor, na qualidade, nesse trabalho do tijolo, que eu percebi que... se o funcionário erra pouco se perde, recompõe logo de volta o estrago facilmente enquanto que na mecânica é muito mais complicado.*

**Pesquisador:** *Você veio de décadas então dessa experiência na mecânica diesel, que é muito mais precisa na hora de montar um motor, um caixa, enfim, trabalha nas casas decimais do milímetro. Como essa experiência toda contribuiu para desenvolver as máquinas que estão aí hoje?*

**Entrevistado 2:** *O fator de ter como atividade a mecânica não surpreende tanto a inovação, quando você tem que inovar na qualidade técnica de um produto. É baseado na mecânica. A mecânica hoje em dia, ela é muito sofisticada que, se não tiver tudo alinhado, tudo certo, não funciona, nem pro lado financeiro e nem pro lado profissional. Enquanto que nas máquinas ali, tendo a mesma linha de raciocínio, eu conduzi de um jeito que não foi difícil pra chegar... falta ainda muita coisa pra ser aprimorada mas ela tá bem avançada com as demais.*

**Pesquisador:** *Você fugiu do sugerido pelas normas ali, eu me refiro, que você praticamente inverteu o processo sugerido para a mistura do solo-cimento. O fato de fazer por último o peneiramento a trituração, não secar o material primeiro, enfim. Você é proprietário intelectual das máquinas, inclusive com patente registrada. Eu pergunto, o que você avaliou para determinar essas mudanças? Como você percebeu a necessidade, essas dificuldades da produção?*

**Entrevistado 2:** *(Aí nós pulemos, fomos da prensa e deixamos) O inicial, que realmente foi nosso carro chefe, que é o misturador, preparador de matéria-prima. Na época quando foi iniciado a produção de tijolos, nós percebemos que, a dificuldade maior que existia pra fabricar o tijolo era aqui, no início da produção, preparar a mistura. Tanto quando precisaria adicionar areia, ou quanto a terra já pronta, a mistura pronta, eu não encontrava no mercado um equipamento adequado que facilitasse esse trabalho, daí a ideia de desenvolver um equipamento específico pra isso. Foi trabalhando nesse sentido que foi desenvolvido o primeiro equipamento que foi o que alavancou toda a marca, partindo da necessidade nossa, do trabalho. Nós precisávamos desse equipamento só que não existia no mercado, hoje existe o nosso.*

**Pesquisador:** *Então, foi produzido no sistema convencional um certo tempo e você reparando e olhando. Percebendo as dificuldades do jeito errado de trabalhar, pra*

*melhorar? Do jeito de peneirar, triturar, do jeito que eles sugeriam, até ver que era inviável? Enfim, foi mais ou menos por aí?*

**Entrevistado 2:** *É, comentando com fabricantes da época, era percebido que (muitos comentaram), que na betoneira não fazia uma mistura homogênea do jeito que é necessário para fabricação dos tijolos. E pesquisando no mercado, também não encontrei nada que tivesse um sistema próximo do que eu idealizava, que eu imaginava ser, por isso que surgiu o equipamento.*

**Pesquisador:** *Ainda ali na fase de mistura, durante a produção das amostras para ensaio foi percebido um descarte de pouco mais de 15 quilos de resíduo da peneira. Qual seria o destino desse resíduo?*

**Entrevistado 2:** *O melhor aproveitamento é custo e benefício. Havendo a necessidade, tendo a ciência de que existe a falta realmente da matéria-prima, tem como reaproveita-lo, mas é praticamente inviável (interrompido por terceiro).*

**Pesquisador:** *Você dizia então que esse material pode ser reaproveitado? É isso?*

**Entrevistado 2:** *Claro ele... existe um outro segredo na produção de tijolos que, começa o princípio lá na escolha do solo, lá na extração. Pois se você escolher um solo já queimado pelo sol ou encharcado pela chuva nada acontece de bom. Então o segredo maior da, pra todo componente funcionar bem, é na escolha do solo e como extraí-lo. Não é chegar na extração e escolher qualquer solo. Porque todos eles, aparentemente são iguais, mas, tem segredos ali que nós, na entrega dos nossos equipamentos sempre foi feita a escolha pro nosso cliente.*

**Pesquisador:** *Certo, mas esses quinze quilos? O quê que eu faço?*

**Entrevistado 2:** *Esses quinze quilos aí voltam de novo para o skip e reaproveita novamente, praticamente não há desperdício.*

**Pesquisador:** *Então vai batendo até que ele...*

**Entrevistado 2:** *Não, acontece que ele misturado junto com o outro solo (próxima batelada) ele dissolve mais fácil, ele se homogeneíza. Aqueles, o pouco que tinha ficado, que tinha saído pela peneira, que foi descartado, mas não foi por... ele não rodou um tempo suficiente talvez, e aí ele volta, mas ele...*

**Pesquisador:** *Em algum momento ele vai virar pó também, e vai virar tijolo.*

**Entrevistado 2:** *Só que é insignificante comparando com a quantia de solo que nós estamos falando.*

**Pesquisador:** *Marcelo relatou na outra entrevista que você também era responsável, num período, pela molha dos tijolos. Poderia me relatar melhor como era esse processo na época?*

**Entrevistado 2:** *Costumeiramente, era, por tradição, ter que molhar o tijolo. E era um serviço desconfortável, porque ele não exigia, não tinha como escolher o dia, era quase como cuidar um pátio de vaca leiteiras, tinha que tá todo dia no pátio ali cuidando. Também isso ali era um problema sério, que foi levado, daí nesse caso, em consideração, pra nós poder trabalhar com o solo tanto... Não escolher o dia pra nós trabalhar que é só quando faz sol. O nosso equipamento ele foi desenvolvido, chegamos até aqui, desenvolvido de uma certa forma que eu não preciso esperar que chova e nem esperar que faça seca pra poder trabalhar. O nosso equipamento trabalha em qualquer situação. E descobrindo essa parte, foi que, chegamos ao ponto, de trabalhar com uma umidade extrema de prensagem. O que conclui que não havia mais necessidade de tá molhando, encharcando o tijolo novamente. Pois ele já continha a umidade na hora da prensagem.*

**Pesquisador:** *Então foi percebido por acaso que não precisava mais molhar o tijolo devido à alta umidade. Conseguiram misturar bem o cimento ali com o misturador mas com alta umidade, e aí, por consequência não precisou mais molhar o tijolo?*

**Entrevistado 2:** *É ali um fato inusitado aconteceu, em uma entrega que foi feita lá em Pomerode (SC). Foi prensado o tijolo um dia antes e no dia seguinte veio um tal de Pedro lá de São Bento (São Bento do Sul – SC) e convidamos ele pra conhecer nosso equipamento. E ele foi fazer um teste de ver de quanto ele absorvia o tijolo, e ele largou um copo de água no tijolo e não absorveu nada. Ele ficou admirado. São casos que acontecem e tu vai coletando, e vai chegando ao ponto de pensar que tem jeito sim, de fabricar um, de fazer um tijolo que não necessite de tá molhando no dia seguinte. Aí, adequando a prensa, com mistura, chegamos a um produto pra prensar em qualquer situação.*

**Pesquisador:** *A prensa foi adaptada pra prensar o material molhado então. Mas é curioso então, analisar que, você estar presente e perceber a cena dessa pessoa lá molhando os tijolos, é um acaso mesmo. Então, foi descoberto no acaso. Lógico, coletando informações, mas é uma cena que ficou marcada ali como o ponta pé inicial pra curar sem molhar.*

**Entrevistado 2:** *É, mas sempre atento, observando sempre, todos os movimentos, sabendo que tá ali pra buscar um aperfeiçoamento. Assim como o jeito de trabalhar com terra molhada, foi percebido lá em Santo Antônio do Aracanguá (SP), quando que, eu precisava fazer o treinamento e havia chovido muito a noite toda... e coletamos as amostras e fomos prensar e conseguimos trabalhar do mesmo jeito, como se fosse a terra normal. Então também foi uma... dá a impressão que é por acaso, mas também há uma certa curiosidade de tu tá cuidando o trabalho e sempre na expectativa de achar alguma melhora que aconteça, e as vezes, acontece.*

**Pesquisador:** *Em uma máquina convencional ali isso, não poderia, em hipótese alguma, ser tentado, pelo menos, ou sim?*

**Entrevistado 2:** *Não, não, não, foi... A questão é a seguinte, que quando nós tentava trabalhar com terra úmida aqui, nós chegamos a cozinhar terra pra poder trabalhar, isso aí é uma loucura (risos), mas foi, passamos por isso também (risos). Então era visto, tanto em outros fabricantes, um obstáculo enorme de trabalhar com a terra úmida, molhada, era um “Deus nos acuda” quando tinha que vim terra nova e a*

*umidade era acima do permitido, com essas máquinas antiga, e tinha que esperar, não tinha outra coisa a fazer. Inclusive chegou uma época de pensar em buscar areia em Ponta Grossa, uma areia especial, pra tirar a umidade da terra.*

**Pesquisador:** *A distância inviabilizava?*

**Entrevistado 2:** *É. Então, foi uma coisa que, foi tentado de tudo antes de nós desenvolver o nosso equipamento ao nosso contento.*

**Pesquisador:** *O trabalho de repaletização não é mais necessário. Como o Marcelo relatou na outra entrevista, os tijolos estavam no chão em pequenas quantidades ou em pequenas camadas no palete para só depois serem repaletizados. Você já desenvolveu tantas máquinas e estamos vivendo a quarta revolução industrial, onde se automatiza o máximo que se pode. Você acredita que pode ser possível a automação do setor de paletização? A empresa já pensa nisso?*

**Entrevistado 2:** *Claro que estamos sempre em evoluir. Já tem propostas pra nós fazer esse equipamento, essa paletizadora. Tem protótipo, que estamos trabalhando nele. Temos que pensar que o trabalho tem que ser industrial e tem que evoluir. Quando nós lembramos do jeito que foi começado, que tinha que colocar os tijolos no chão, imagine o quanto nós evoluímos até agora. Agora ele sai da prensa para o palete do palete para a obra. Agora se nós chegar ao ponto de ter esse paletizador, agrega ainda mais uma ferramenta pro nosso layout, que é muito bom. É questão de tempo, acredito que não vai demorar muito. Também vai depender da exigência do mercado, se a gente perceber que existe consumo pra esse produto, vamos partir pra esse produto também claro. Aconteceu o seguinte, um outro episódio que aconteceu em Maringá numa entrega, nosso cliente ele questionou, as dificuldades que ele tinha em produzir e ele, me questionou dizendo que nunca iria chegar com esse equipamento da época pra trabalhar com escala industrial. Ter o nome de uma empresa que tivesse conceito no mercado, que valesse à pena, que a até então era um trabalho muito artesanal, era praticamente um hobby, pra quem não tina o que fazer nos finais de semana. Então aquilo foi uma cutucada que tive que pensar de*

*novo, quando cheguei em casa tive que pensar. Mas será que nós vamos ficar lá no tempo ou vamos ter que inovar? Vamos ter que ir pra luta.*

**Pesquisador:** *Depois de tanto sofrimento no setor aprendendo, você recomenda o ramo de produção de tijolos solo-cimento?*

**Entrevistado 2:** *(risos antecedem a resposta) Pra quem veio do ramo de mecânica é uma coisa muito confortável pensar em produzir tijolos porquê eu não sei comparar a outras atividades como seria, mas a mecânica é sofrida. É uma profissão ingrata, então pra mim foi... eu descanse, francamente, eu não tive mais aqueles problemas de... quem entende de mecânica sabe, mecânico responsável sofre. Então a partir da fabricação de tijolos foi uma tranquilidade enorme. Se estragar uma peça de um carro o valor é alto, se o funcionário derrubar um palete ou quebrar quatro, cinco ou dez tijolos é insignificante a perda. Então a tranquilidade no trabalho mudou muito.*

**Pesquisador:** *Pra finalizar então, você já eliminou a fase de molha no processo ali, facilitou a paletização e tudo mais. Dispensar o uso da água no processo de cura já é algo muito significativo. Mas estamos na busca por matéria-prima menos agressiva ao meio ambiente. Se tratando do solo uma matéria-prima finita, você imagina idealizar alguma máquina que processe materiais como vidro, resíduos de construção ou coisa similar?*

**Entrevistado 2:** *É uma experiência nova a ser feita, mas eu acredito que, o que eu vi em Maringá em uma (usina) aproveitamento de resíduo. Então, eles têm muito resíduo de material de construção de casa demolida e coisa parecida, e cabe um pequeno estudo pra chegar e trabalhar com esse produto. O que também acredito que em toda cidade já tem o problema, do fim correto do entulho. Pra nós faltaria pouco pra aperfeiçoar o nosso equipamento, não seria muito. Desde que haja necessidade nós estamos prontos para cumprir esse trabalho. O nosso equipamento ele já absorve só uma pequena adaptação pra esse tipo de material, que já não é mais areia de barranco, mas sim, aproveitamento de construção civil. Então vendo...*

**Pesquisador:** *As pessoas já usam um percentual desses resíduos? Já fazem uma certa mescla?*

**Entrevistado 2:** *Fazem uma certa mescla, mas faltava (o que observei na época), interesse das empresas de avançar no como consumir aquele produto. Ficam meio duvidosos em acreditar que pode dar certo. Mas eu percebi que, facilmente se chegar lá e jogar em dez baldes, vamos falar em balde agora, em dez baldes do produto dele eu jogar dois baldes de argila pura, eu acredito que já saio com o trabalho pronto. Já saio prensando, com o nosso equipamento vai dar certo. Sem dúvida.*

**Pesquisador:** *Muito bom! Sr. Deomir, muito obrigado! Obrigado pela entrevista.*

## APÊNDICE AA – CONSUMO ÁGUA CURA MÉTODO CONVENCIONAL

### Planilha Cálculo Consumo Água Cura Método Convencional

Vazão mangueira = 4,2 litros p/ minuto

Tempo = 60 minutos por dia (manhã, meio-dia, final de tarde)

Tabela de Molha								Total
Manhã	9min	4min	2min	2min	1min	1min	1min	20 min
Idade	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	
Litros	37,80	16,80	8,40	8,40	4,20	4,20	4,20	<b>84L</b>
		D1						84L
			D1					84L
				D1				84L
					D1			84L
						D1		84L
							D1	84L
							...	84L

Tabela de Molha								Total
Meio-dia	9min	4min	2min	2min	1min	1min	1min	20 min
Idade	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	
Litros	37,80	16,80	8,40	8,40	4,20	4,20	4,20	<b>84L</b>
		D1						84L
			D1					84L
				D1				84L
					D1			84L
						D1		84L
							D1	84L
							...	84L

Tabela de Molha								Total
Final Tarde	9min	4min	2min	2min	1min	1min	1min	20 min
Idade	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	
Litros	37,80	16,80	8,40	8,40	4,20	4,20	4,20	<b>84L</b>
		D1						84L
			D1					84L
				D1				84L
					D1			84L
						D1		84L
							D1	84L
							...	84L

<b>Total</b>	<b>113,4</b>	<b>50,4</b>	<b>25,2</b>	<b>25,2</b>	<b>12,6</b>	<b>12,6</b>	<b>12,6</b>	<b>252,0</b>
--------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

**APÊNDICE AB – AUTORIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES DA EMPRESA**

	MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
	Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional
	Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação Sistema de Bibliotecas

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE  
INFORMAÇÕES DE EMPRESAS/INSTITUIÇÕES/ORGANIZAÇÕES  
PÚBLICAS OU PRIVADAS**

Empresa/Instituição/Organização: Ind. e Com. de Tijolos Alroma Ltda.

CNPJ: 12.845.902/0001-08      Inscrição Estadual: 9054107410

Endereço completo: Rodovia PRC 280, km 134 – Caixa Postal 263

Nome do representante legal: Rogério Expedito Restelli

RG: 3.528.470      CPF: 037.358.459-83

Telefone: (46) 3263-1121      e-mail: contato@alroma.com.br

Tipo de produção: ( ) TCC<sup>1</sup>    ( ) TCCE<sup>2</sup>    (X) Dissertação    ( ) Tese

Título/subtítulo: **INOVAÇÃO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE  
TIJOLOS ECOLÓGICOS**

Autor<sup>3</sup>: Rogério Expedito Restelli      Código de matrícula<sup>3</sup>: a1970615

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Avancini Schenatto

Curso/Programa de Pós-graduação: Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia da Produção e Sistemas

Como representante legal da empresa/organização/instituição acima  
nominada, declaro que os, as informações e/ou documentos disponibilizados  
pela empresa/organização/instituição para a elaboração do trabalho citado:

(X) Podem ser publicados sem restrição.

( ) Podem ser publicados com restrição de acesso pelo período<sup>4</sup> de \_\_\_\_\_  
anos, pelos seguintes motivos:

PALMAS-PR 5/10/21

Local e Data

  
Assinatura do Representante legal

## APÊNDICE AC – AUTORIZAÇÃO ENTREVISTADO 1

	<p>MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  <b>Universidade Tecnológica Federal do Paraná</b>          Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional          Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação          Sistema de Bibliotecas</p>
---	---

### TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM, VOZ E DADOS DIGITAIS E RESPECTIVA CESSÃO DE DIREITOS

Eu, abaixo identificado, na melhor forma de direito, autorizo, de forma gratuita e sem qualquer ônus, ao pesquisador e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), a utilização de meu nome, minha imagem e som de voz, relacionados ao material descrito neste termo, no Portal de Informação em Acesso Aberto (PIAA) e no Repositório Institucional da UTFPR (RIUT) desta Instituição, e em todos os meios de divulgação possíveis, quer sejam na mídia impressa (livros, catálogos, revista, jornal, entre outros), televisiva (propagandas para televisão aberta e/ou fechada, vídeos, filmes, entre outros), radiofônica (programas de rádio/podcasts), escrita e falada, Internet, Banco de dados informatizados, Multimídia, “home video”, DVD, entre outros, e nos meios de comunicação interna, como jornal e periódicos em geral, na forma de impresso, voz e imagem, sem ônus ou ressarcimento dos direitos autorais e de acordo com a Lei nº 9.610/1998, a Lei nº 10.406/2002 e a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

A presente autorização e cessão são outorgadas livres e espontaneamente, em caráter gratuito e universal, não incorrendo a autorizada em qualquer custo ou ônus, seja a que título for, sendo que estas são firmadas em caráter irrevogável, irretroatável, e por prazo indeterminado, obrigando, inclusive, eventuais herdeiros e sucessores outorgantes, produzindo seus efeitos não só no Brasil, mas em qualquer lugar situado fora das fronteiras nacionais.

#### Identificação:

Nome do Cedente: Marcelo Restelli

RG: 12439346-9 SESP PR CPF: 080.812.029-86 Telefone: (46) 9.8808-4747

e-mail: psicorest@gmail.com

Título da obra: Inovação no Processo de Produção de Tijolos Ecológicos

Autor da obra: Rogério Exedito Restelli

Palmas-PR 5/30/2023  
Local e Data

Marcelo Restelli  
Assinatura do Cedente

## APÊNDICE AD – AUTORIZAÇÃO ENTREVISTADO 2

	<p>MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO</p> <p>Universidade Tecnológica Federal do Paraná</p> <p>Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional</p> <p>Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação</p> <p>Sistema de Bibliotecas</p>
---	--

### TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM, VOZ E DADOS DIGITAIS E RESPECTIVA CESSÃO DE DIREITOS

Eu, abaixo identificado, na melhor forma de direito, autorizo, de forma gratuita e sem qualquer ônus, ao pesquisador e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), a utilização de meu nome, minha imagem e som de voz, relacionados ao material descrito neste termo, no Portal de Informação em Acesso Aberto (PIAA) e no Repositório Institucional da UTFPR (RIUT) desta Instituição, e em todos os meios de divulgação possíveis, quer sejam na mídia impressa (livros, catálogos, revista, jornal, entre outros), televisiva (propagandas para televisão aberta e/ou fechada, vídeos, filmes, entre outros), radiofônica (programas de rádio/podcasts), escrita e falada, Internet, Banco de dados informatizados, Multimídia, “home video”, DVD, entre outros, e nos meios de comunicação interna, como jornal e periódicos em geral, na forma de impresso, voz e imagem, sem ônus ou ressarcimento dos direitos autorais e de acordo com a Lei nº 9.610/1998, a Lei nº 10.406/2002 e a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

A presente autorização e cessão são outorgadas livres e espontaneamente, em caráter gratuito e universal, não incorrendo a autorizada em qualquer custo ou ônus, seja a que título for, sendo que estas são firmadas em caráter irrevogável, irretroatável, e por prazo indeterminado, obrigando, inclusive, eventuais herdeiros e sucessores outorgantes, produzindo seus efeitos não só no Brasil, mas em qualquer lugar situado fora das fronteiras nacionais.

#### Identificação:

Nome do Cedente: Deomir Restelli

RG: 441067 SESP SC CPF: 195.939.379-00 Telefone: (46) 9.8821-3670

e-mail: pairestell@gmail.com

Título da obra: Inovação no Processo de Produção de Tijolos Ecológicos

Autor da obra: Rogério Expedito Restelli

*Falmar 5/10/2021*  
Local e Data

*Deomir Restelli*  
Assinatura do Cedente