

Uso do resíduo do papel gerado pela UFRN na fabricação de tijolos – Desenvolvimento de uma metodologia

Use of paper residue generated by UFRN in brick manufacturing – Development of a methodology

DOI:10.34117/bjdv7n8-640

Recebimento dos originais: 27/07/2021

Aceitação para publicação: 29/08/2021

Cibele Dantas Peixoto

Graduanda em Engenharia Civil, pela UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rua Luiz Varela da Costa, 46, Loteamento Esperança – Macaíba, RN, CEP: 59280-000
E-mail: cibeledantas7@outlook.com

Diana Carla Secundo da Luz

Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais, pela UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Alameda dos Bosques, 795, Parque do Jiqui – Parnamirim, RN, CEP: 59153-902
E-mail: dianasecundo@hotmail.com

Ewerton Silva Vieira de Souza

Graduando em Engenharia Civil, pela UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rua Ferreira Chaves, 20, Centro – Monte Alegre, RN. CEP: 59182-000
E-mail: ewertonvieirsouza1@gmail.com

Gabriel de Figueiredo Bezerra Costa

Graduando em Engenharia Civil, pela UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte Endereço: Distrito Palma – Caicó, RN,
CEP: 59300-000
E-mail: gabbezerra2000@gmail.com

Karla Susanna Correia Cavalcanti de Albuquerque

Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pela UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Endereço: Rua Mossoró, 520, Bairro Tirol – Natal, RN, CEP: 59020-090
E-mail: karlarq@gmail.com

Maiara Alves da Silva

Graduanda em Engenharia Civil, pela UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Rua João Cordeiro, 124, Centro – Rodolfo Fernandes, RN, CEP: 59830-000
E-mail maiara.alves1215@gmail.com

Maria Letícia de Freitas Basílio

Graduanda em Engenharia Civil, pela UFRN

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Avenida Francisco Cabral, 392, Centro – São Pedro, RN, CEP: 59480-000
E-mail: maria.basilio.fb@gmail.com

Matheus Santos de Macêdo
Graduando em Engenharia Civil, pela UFRN
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rua Guarandi, 68, Pajuçara – Natal, RN, CEP: 59132-530
E-mail: ms.macedo14@gmail.com

RESUMO

A crescente produção de resíduos sólidos é, cada vez mais, uma adversidade decorrente do consumo desenfreado que marca a contemporaneidade. A tomada de soluções que reduzam o impacto social, econômico e ambiental é, gradativamente, tratada como uma urgência em todas as áreas. Para tanto, a construção civil é aberta a inovações que possibilitem a diminuição dos custos e o aumento da produtividade. Assim sendo, aliando um cenário em que o papel representa cerca de 70% do material recolhido e passível de reciclagem no Campus Central da UFRN, pensou-se em desenvolver um tijolo maciço de papel que possibilitasse um reaproveitamento desse insumo na instituição, além de contribuir para uma melhor destinação do resíduo sólido. A partir de pesquisa da bibliografia disponível sobre tijolos ecológicos de papel e dos dados coletados durante as práticas desenvolvidas nos Laboratórios de Materiais de Construção Civil e Materiais Cerâmicos da UFRN, este trabalho visa analisar o processo produtivo das etapas da fabricação do tijolo e propõe um método para sistematizá-lo. Como resultado da sua aplicação, aqui proposto, foi possível promover, por exemplo, a economia dos materiais, a otimização no uso dos instrumentos disponíveis e a definição de alguns parâmetros como tamanho das tiras de papel, proporção entre solvente e soluto, formas de prensagem e técnicas de secagem, quando comparado com outros métodos existentes para fabricação de tijolos similares.

Palavras-chave: Tijolo de papel, construção civil, inovação sustentável, reuso de resíduos sólidos, metodologia de produção.

ABSTRACT

The increasing production of solid waste is increasingly an adversity arising from the rampant consumption that marks contemporaneity. The taking of solutions that reduce the social, economic and environmental impact is gradually treated as an emergency in all areas. To this end, civil construction is open to innovations that allow the reduction of costs and increased productivity. Thus, combining a scenario in which the paper represents about 70% of the material collected and recant in the Central Campus of UFRN, it was thought to develop a solid brick of paper that would allow a reuse of this institution, besides contributing to a better disposal of solid waste. From research of the available bibliography on ecological paper bricks and the data collected during the practices developed in the Laboratory of Civil Construction Materials and Laboratory Ceramic Materials of UFRN, this work aims to analyze the productive process of the stages of brick manufacturing and proposes a method to systematize it. As a result of its application, proposed here, it was possible to promote, for example, the economy of materials, the optimization in the use of available instruments and the definition of some parameters such as paper strip size, proportion between solvent and solute, pressing forms

and drying techniques, when compared with other existing methods for making similar bricks.

Keywords: Paper brick, civil construction, sustainable innovation, solid waste reuse, production methodology.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos aumentam em quantidade e diversidade com o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico, a urbanização e os avanços tecnológicos. De acordo com Antenor et al. (2020), o Brasil é um dos países que mais gera materiais, substâncias e objetos descartados, cuja destinação final não recebe tratamento adequado, impossibilitando desse modo, o seu reaproveitamento na indústria. Segundo a Abrelpe (2019), foram produzidos, Panorama dos Resíduos Sólidos, aproximadamente, 380 kg de resíduos, em média, por pessoa no país em 2018.

A reutilização e a reciclagem são instrumentos essenciais para promover um desenvolvimento sustentável (ANCAT, 2018, p. 7). A adoção de medidas, que transformem elementos que não tem mais utilidades em novos produtos, pode permitir uma modificação na relação entre as pessoas e o modo como elas utilizam o meio em que vivem, atenuando por exemplo, a exploração dos recursos naturais, a contaminação da água e do solo, e a emissão de gases poluentes (ANCAT, 2018, p. 10; ABRELPE 2019).

Segundo Nogueira et al (2021) atualmente se fala muito em reciclagem e há diversas aplicações sustentáveis, no entanto as variáveis e entraves da rotina em sociedade pedem por uma solução que possa ajudar tanto o meio como as pessoas que estão no meio. Nesse entendimento, para que a recuperação dos resíduos sólidos gerados seja adequada, é indispensável considerar os tipos de materiais descartados e suas quantidades produzidas, que estão intrinsecamente relacionados ao local de sua formação, de acordo com a população que ali transita ou reside e de quais atividades são realizadas. De acordo com Bassani (2011), a caracterização, identificação e quantificação dos resíduos sólidos permitem avaliar a geração deles e, assim, selecionar equipamentos específicos, conceber rotas de coleta, elaborar programas de recuperação de materiais e obter indicadores.

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) é comparada a um pequeno núcleo urbano,

por contar com 123 hectares (PROGIREs, 2010) e, conforme documento divulgado no portal da instituição, até 2018 a Universidade contava com 41.986 alunos, 2.392 docentes efetivos e com 3.070 servidores no corpo técnico-administrativo,

totalizando, assim, mais de 47 mil indivíduos em sua composição. Desse modo, a circulação de pessoas no campus é muito intensa; consequentemente, a geração de resíduos é também muito expressiva, demandando que medidas de gerenciamento sejam tomadas.

Com base em dados monitorados pela Unidade de Armazenamento Temporário de Resíduos (UATR) da UFRN, por esta se tratar de um ambiente acadêmico, o maior contribuinte entre os resíduos descartados é o papel, sendo este o responsável por, em média, cerca de 82,78% do que é descartado no campus; mesmo com os processos atuais da Universidade sendo realizados de forma digital.

Assim, diante desse contexto e por se tratar de uma pesquisa realizada dentro do departamento de Engenharia Civil, o presente trabalho propõe um método para sistematizar o processo de produção de um tijolo maciço de papel, de modo a fornecer uma nova alternativa de reciclagem no âmbito do descarte do papel na UFRN e colaborar com o estudo de inovações tecnológicas e materiais sustentáveis para a construção civil, setor considerado pela CIB (Conselho Internacional da Construção) como aquele que mais consome recursos naturais não renováveis.

2 MÉTODOS E MATERIAIS

As definições adotadas nesse estudo para confecção do tijolo de papel, tais como: o tamanho das tiras do papel, a relação entre água e papel, as fôrmas adotadas para prensagem e as técnicas de secagem, foram definidas a partir de experimentos empíricos, levando em consideração aspectos como: economia, otimização, precisão, disponibilidade de equipamentos e materiais obtidos na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), bem como pesquisas que abordassem a produção do tijolo de papel, como é o caso do estudo de Albuquerque et al. (2018).

Nesse sentido, pensou-se na divisão da produção seguindo as seguintes etapas:

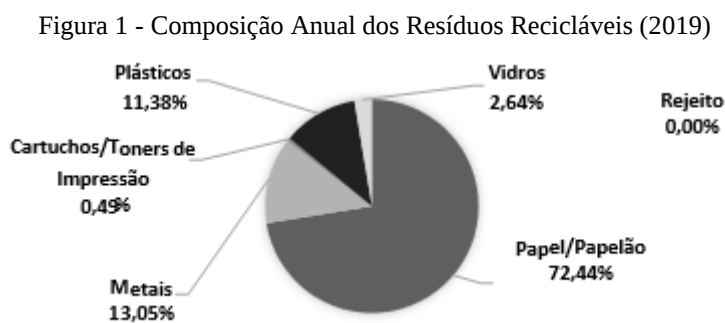
- Coleta;
- Triagem e limpeza;
- Trituração;
- Produção de polpa;
- Processo de prensagem;
- Secagem e estocagem.

2.1 COLETA, TRIAGEM, LIMPEZA E TRITURAÇÃO

A UFRN conta com o Programa de Gestão Integrada de Resíduos (PROGIRES), o qual é responsável por planos, ações e normas que promovem e regulam os resíduos gerados na instituição, objetivando a redução e controle dos impactos causados por esses no meio ambiente, e é executado pela Superintendência de Infraestrutura (INFRA).

Conforme o PROGIRES, de todo o lixo gerado na instituição, grande parte dele é composto de lixo classificado como comum e é direcionado às cooperativas de catadores, em resposta ao Decreto 5.940/2006, o qual determina que essa medida seja adotada pelas instituições federais (PROGIRES, 2010). Além disso, está previsto nesse programa o gerenciamento desses resíduos para o seu reaproveitamento em estudos de pesquisa voltados para as inovações tecnológicas e para os materiais sustentáveis.

Por meio da INFRA, especificamente no Departamento de Meio Ambiente (DMA), responsável pela coleta e destinação dos resíduos de todos os setores e departamentos da instituição, foi possível ter acesso ao controle dos recicláveis coletados da Unidade de Armazenamento Temporário de Resíduos (UATR), que é o ambiente de armazenamento e destinação dos resíduos semanalmente recolhidos. Verificou-se, com os dados cedidos pelo departamento, que por se tratar de um ambiente acadêmico, a categoria papel/papelão representa cerca de 72% do material recolhido e passível de reciclagem entre janeiro e setembro de 2019, (Figura 1).



Fonte: Departamento de Meio Ambiente – UFRN (2019)

Inicialmente, pensou-se na utilização de vários tipos de papéis como matéria prima para a produção do tijolo de papel, sendo eles: sulfite, Canson, Kraft, papelão e de embalagem. No entanto, verificou-se que para os tipos: Canson, Kraft e de embalagem, a quantidade disponibilizada na UFRN seriam insuficientes para a produção mínima dos tijolos pretendidos na pesquisa. Já o sulfite e papelão foram os que tiveram maior quantidade e por isso sua utilização. A escolha do sulfite em detrimento do papelão se

deu por estudos bibliográficos relacionados às características físico-química desse material, bem como por testes laboratoriais, no qual se consistiu em verificar a desagregação do material com água. No capítulo 3 será discutido motivo de tal definição.

Nesse sentido, solicitou-se ao DMA quantias semanais de 7 a 10 Kg de papel, levando em consideração a programação definida para as atividades do projeto e a capacidade executiva da equipe. A tarefa anterior à polpa consiste basicamente na seleção do papel e, em seguida, a retirada de grampos, cliques, fitas e/ou espirais encontrados.

No início das atividades laboratoriais da pesquisa, a trituração do papel era realizada manualmente pelos participantes da pesquisa, considerando uma espessura de tira de aproximadamente 20 mm (Figura 2). Decorrido tempo, contou-se com apoio do triturador de papel do escritório do DMA, ao qual foi possível reduzi-lo a escalas milimétricas (Figura 3).

Figura 2 - Tiras de papéis feitas manualmente com 20 mm de espessura.



Figura 3 - Tiras de papéis feitas manualmente com 7 mm de espessura.



Fonte: Produzidas pelos autores

2.2 PRODUÇÃO DE POLPA

Para a produção da polpa do papel, inicialmente foram seguidos os procedimentos recomendados em Albuquerque et al (2018), em que o papel, depois da trituração, passa por uma desconstrução das suas fibras de celulose com método de acrescentar água gradativamente e, simultaneamente, o operador realiza a mistura manual da solução até chegar ao ponto desejado.

A água adicionada seguiu uma proporção, ao qual possibilitou a indicação ideal da quantidade de água e papel para a realização da solução. Essa razão (a/p) adotada baseou-se, primeiramente, no estudo de Albuquerque et al. (2018), em que a quantidade de água inserida deve resultar em uma polpa maleável, fina e dissolvida. Buscou-se,

portanto, uma proporção que, além de atender os aspectos da polpa mencionada, também usasse o mínimo de água possível para dissolver de maneira eficiente o papel.

Nesse sentido, para a busca dessa relação entre os insumos, adotou-se, na confecção do primeiro lote (L001), o procedimento de adicionar, gradativamente, porções do solvente até a verificação de um ponto ideal, seguindo os parâmetros mencionados. Tal procedimento foi de suma importância, pois determinou-se a quantidade de partes de água necessária para desmanchar uma parte do papel. Após o L001, pensou-se em testar, da mesma forma, outras proporções, como 2,5:1 e 3,3:1 com o objetivo de averiguar a efetividade dessa relação. O histórico das proporções pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Histórico de proporção água e papel (a/p) utilizados na pesquisa

Tabela 1 - Histórico de proporção água e papel (a/p) utilizados na pesquisa				
Nº BALDE	A/P	PAPEL SECO (g)	ÁGUA (g*)	DESCRIPTIVO
L001				
01		1.915,0	5.750,0	Polpa produzida para posterior prensagem em fôrmas de solo-cimento e de madeira.
02	3:1	1.983,0	6.000,0	
03		1.860,0	5.600,0	
L003				
01	3:1	1.945,0	5.850,0	Polpa produzida para posterior prensagem em fôrmas de solo-cimento e de madeira.
02		1.898,0	5.700,0	
L004				
01	2,5:1	1.437,0	3.618,0	Polpa produzida para posterior prensagem em fôrma de solo-cimento.
02		2.048,0	5.120,0	
L005				
01	3:1	1.848,71	5.630,0	Polpa produzida para posterior prensagem em fôrma de madeira.
02		1.548,62	4.210,0	
03		1.414,61	4.310,0	
04		656,31	2.030,0	
L006				
01	3:1	1.798,0	5.400,0	Polpa produzida para posterior prensagem em fôrma de madeira.
02		747,0	2.300,0	
L007				
01	3,3:1	1.573,42	5.100,0	Polpa produzida para posterior prensagem em fôrma de madeira.
02		1.034,06	3.400,0	
L008				
01	3:1	1.843,69	5.731,07	Polpa produzida para posterior prensagem em fôrma de queijo.
02		1.332,93	5.198,79	

* Considerou-se a densidade da água: 1 g/ml em temperatura de 25 °C.

Fonte: Produzido pelos autores.

A preocupação com o menor uso de água está relacionada à promoção da sustentabilidade, além de lidar com a redução do seu uso, pois trata-se de um bem precioso que é consumido em abundância e de forma indiscriminada pela população.

Nesse sentido, para assegurar que as quantidades de água e papel estão obedecendo tal proporção, realizou-se um controle de pesagem do papel seco (antes da polpa) para posterior cálculo de água necessária, conforme pode ser visto Tabela 2. Após o procedimento exposto, a polpa é pesada, seguida por um repouso de 2 a 3 dias em um

local protegido das intempéries, no intuito de evitar ressecamento indesejado ou acúmulo da água da chuva. Um prazo maior que esse pode levar à proliferação de bactérias que deixam um odor desagradável na polpa, tendo em vista que a mistura é perecível. Os aspectos visuais da polpa atingida usando a razão (a/p) de 3:1 são vistos na Figura 4 e Figura 5.

Tabela 2 - Controle de pesagens na produção de polpa do lote L005.

Nº BALDE	PAPEL SECO (g)	ÁGUA (g*)	PAPEL SECO + ÁGUA (g)	POLPA (g)
01	1.848,71	5.546,13	7.394,84	**
02	1.548,62	4.645,86	6.194,48	3.449,78
03	1.414,61	4.243,83	5.658,44	4.858,14
04	656,31	1.968,93	2625,24	1.443,30
		Média	4.826,05	3.250,40

*Considerou-se a densidade da água: 1 g/ml em temperatura de 25 °C. **Dados perdidos
Obs.: A polpa do lote em questão realizou-se no dia 08/11/2019, bem como sua a/p adotada é 3:1.
Fonte: Produzido pelos autores.

Figura 4 - Massa homogênea de papel após sua produção



Figura 5 - Massa homogênea de papel após repouso. A imagem mostra três tigelas metálicas empilhadas, cada uma contendo uma massa escura, úmida e homogênea, que é a polpa de papel após o repouso.



Fonte: Produzidas pelos autores

2.3 PRENSAGEM

Utilizou-se três diferentes prensas para conseguir o tijolo de papel compactado. São elas: a de madeira, de solo-cimento e de queijo. Para todas as prensas, o processo se consistiu em: limpeza das fôrmas; lubrificação (cera de carnaúba); inserção da polpa na prensa (Figura 8); prensagem (Figura 6) e retirada do tijolo fresco compactado (Figura 7).

Figura 6 – Inserção de polpa na prensa de solo-cimento



Figura 7 – Compactação na prensa de solo-cimento



Figura 8 – Retirada do tijolo compactado da prensa



Fonte: Produzidas pelos autores

O nível de compactação irá depender da capacidade mecânica de cada tipo de prensa. Dessa forma, o primeiro instrumento consiste em um molde de madeira, conforme a Figura 9, de origem artesanal. A fôrma contém furos em suas bordas para saída de água e seu tipo de madeira é resistente e compacto. A prensagem dos tijolos se deu por meio de compressão manual na medida que as camadas de polpa foram colocadas no molde, cada qual com ± 3 cm de altura, com auxílio de um bloco maciço de concreto. Tal compressão por camadas, objetiva retirar o máximo de água possível da polpa (Figura 10). A desmoldagem, por sua vez, é feita delicadamente, a fim de afetar minimamente as feições geométricas do produto.

Julgando ser necessário otimizar o processo de fabricação dos tijolos, empregou-se outras fôrmas de compactação. De tal maneira, o segundo equipamento utilizado foi uma prensa para a produção de tijolos de solo-cimento, pertencente ao Laboratório de Materiais Cerâmicos da UFRN. A prensa possui um braço de alavanca e outras articulações mecânicas, as quais reduzem o esforço do operador no ato da compactação do tijolo, bem como proporcionam um melhor desmolde do tijolo (Figura 11). Portanto, o procedimento adotado consistiu-se em realizar movimentos alternados no braço de alavanca, expulsando o máximo de água possível.

Por fim, utilizou-se uma fôrma de queijo composta por três partes: a estrutura, o molde do queijo, em aço inox, e a bandeja receptora, em plástico. Tal aparato possui um mecanismo de funcionamento por manivela giratória, a qual aplica uma força de compressão vertical na massa de papel presente no molde de queijo. No intuito de se obter um tijolo mais plano, somou-se ao processo uma placa de compensado de madeira com dimensões aproximadas a área do molde (Figura 12). Na sequência, desmoldou-se o tijolo

delicadamente. Vale salientar que a bandeja plástica funcionou como receptora da água excedente da solução, a qual foi reaproveitada nas seguintes produções.

Figura 9 – Molde de madeira



Figura 10 - Moldagem em camadas



Figura 11 – Processo de desmolde do tijolo



Figura 12 – Prensagem da polpa na prensa para queijos



Fonte: Produzidas pelos autores

A Tabela 3 resume as informações referentes às dimensões dos instrumentos utilizados durante a execução da pesquisa. Ressalta-se que as prensas possuem medidas geométricas próximas.

Tabela 3 - Medidas das fôrmas utilizadas.

FÔRMA	ALTURA (cm)	LARGURA (cm)	COMPRIMENTO (cm)	VOLUME (cm³)
Fôrma de madeira 01	5,7	11,1	22,5	1.423,58
Fôrma de madeira 02	5,6	11,5	22,4	1.442,56
Fôrma de madeira 03	6	11,5	22	1.518
Fôrma de solo-cimento	5,0	9,0	20,0	900,0
Fôrma de queijo	9,0	11,5	19,5	2.018,25

Fonte: Produzido pelos autores.

2.4 SECAGEM E ESTOCAGEM

No intuito de realizar não só uma secagem com menor interferência das intempéries naturais (como: chuva, poeira, vento, insolação, etc.), mas também de melhorar a estabilidade dos tijolos produzidos para a futura realização de ensaios e testes, adotou-se procedimento de secagem padrão, como colocar os tijolos em local seco, arejado e coberto.

A presente pesquisa contou com o auxílio de suportes planos para melhorar a secagem do produto, cujo período de secagem foi de, aproximadamente 15 dias. Tais suportes se consistem em telas de filtro de nylon finas (Figura 13), bem como placas de PVC (Figura 14). Devido a tais suportes permitirem uma boa circulação de ar no entorno dos produtos, os tijolos não apresentaram mofo e obtiveram uma secagem mais rápida. É válido salientar que, durante a secagem, a equipe da pesquisa realizou pesagens e

análises acerca da perda de água no enxugamento nas idades de 1, 7, 10 e 15 dias após a prensagem. Após a completa secagem dos tijolos, estes foram, respectivamente: identificados com a numeração do respectivo lote, pesados e armazenados em caixas de compensado, as quais foram guardadas em local seco, seguro e coberto (Figura 15).

Figura 13 - Telas de Nylon finas utilizadas na secagem.



Figura 14 – Telas de PVC finas utilizadas para secagem.



Figura 15 - Caixas de compensado.



Fonte: Produzidas pelos autores

A Tabela 4 abaixo mostra o controle das pesagens do lote L003 realizado na prensa de solo-cimento.

Tabela 4 - Controle de pesagem dos tijolos do lote L003.

Nº DO TIJOLO	MASSA DO TIJOLO (g)				PERDA DE ÁGUA	
	1º DIA	7º DIA	10º DIA	15º DIA	(g)	(%)
01	1614,36	691,20	533,42	503,00	1111,36	68,84
02	1670,40	627,70	473,81	447,00	1223,40	73,24
03	1563,40	604,10	474,06	451,00	1112,40	71,15
04	1302,23	518,70	415,36	402,00	900,23	69,13
05	1614,90	705,60	515,55	479,00	1135,90	70,34
06	1271,77	503,10	388,71	375,00	896,77	70,51
Média	1506,18	608,40	466,82	442,83	1063,34	70,54

Obs.: Os tijolos referidos foram feitos na prensa de solo-cimento. Realizado no dia 18/10/2019.

Fonte: Produzidas pelos autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise a seguir a respeito dos resultados obtidos está atrelada às definições adotadas nesse projeto a partir do estudo de Albuquerque et al. (2018), como também aos testes empíricos pautados em economia dos recursos (papel e água), otimização da produção e eficiência do produto.

No intuito de sistematizar a análise dos resultados obtidos, dividiu-se a discussão nas seguintes definições:

- Tipo de papel;

- Tamanho das tiras de papel;
- Proporção de água/papel;
- Compactação do tijolo.

3.1 TIPO DE PAPEL

A delimitação partiu de testes preliminares e estudos bibliográficos para aferir a viabilidade do papel sulfite e papelão como matéria-prima do tijolo. Ao colocar o papel sulfite e o papelão de molho em água, após triagem e trituração, a polpa obtida de sulfite (após ± 2 dias) apresentou um aspecto homogêneo, com cor acinzentada e sem odor (Figura 4 e Figura 5). Já a de papelão (após ± 2 dias) não proporcionou a mesma característica visual, pois apresentou certa resistência na quebra das fibras de celulose em contato com água.

Isso ocorre devido ao papelão ser formado basicamente de papéis reciclados (como: revistas e jornais) e um pouco de celulose virgem. Já o papel sulfite apresenta, como principal componente químico a celulose virgem, sem que ela tenha sido utilizada na fabricação de outro papel. Segundo Brazil (2016), papéis de celulose virgem possuem alta absorção e não esfrelam quando molhados, enquanto os reciclados não conseguem absorver água adequadamente devido à sua heterogeneidade.

Nesse sentido, adotou-se o sulfite, a fim de ser obter um produto com características mais estáveis possíveis, tais como: cor, textura, peso, formato, bem como proporcionar uma produção mais diligente, ou seja, com cuidado, tendo em vista os resultados fáceis e seguros da desagregação do mencionado papel com água.

3.2 TAMANHO DAS TIRAS DE PAPEL

O ponto de análise sobre o tamanho das tiras de papel é determinar sua influência no tijolo. Nas características do tijolo em si, não houve diferenças perceptíveis no resultado da massa homogênea que serve como insumo para a produção do tijolo. No entanto, o procedimento para obtenção dessa polpa foi influenciado. Segundo os estudos de Albuquerque et al. (2018) e Barreto et al. (2017), a trituração do papel ajuda na confecção da polpa, pois, quanto menores forem os pedaços, maior será a facilidade e a agilidade para dissolução do soluto.

Nesse sentido, fragmentar o papel no triturador elétrico do DMA, trouxe otimização de tempo para confecção da polpa do tijolo.

3.3 PROPORÇÃO DE ÁGUA/PAPEL

A partir da Tabela 1, observa-se que foram utilizadas algumas proporções diferentes antes de definição da razão 3:1. Nesse aspecto, a relação 2,5:1 teve o objetivo de tentar diminuir ainda mais a proporção de água/papel, visando-se usar uma quantidade mínima possível do solvente. Entretanto, observou-se que os tijolos produzidos apresentaram muitos poros, aspectos quebradiços e facilidade para desagregar.

Quanto aos tijolos produzidos na proporção 3,3:1, apresentaram firmeza e poucos poros. Esse valor foi determinado empiricamente ao adicionar certa quantia do solvente para averiguar se haveria alguma diferença com a proporção ideal. Assim sendo, os resultados apresentados não diferiram dos obtidos na produção dos tijolos em uma proporção 3:1.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos aspectos visualmente observados por cada lote feito com suas respectivas razões. Por essa tabela, a proporção 3:1, de maneira geral, gera tijolos suficientemente bons: com poucos poros, firmes ao toque e com bordas firmes. Salienta-se que, devido à utilização de diferentes prensas, os aspectos observados para tijolos de mesma proporção também podem variar, como pode se observar por meio do comparativo: tijolos feitos pela fôrma de madeira (Figura 9) e de queijo (Figura 14) possuem aparência mais desejada do que feitos na prensa de solo-cimento (Figura 13).

Tabela 5 - Resumo dos aspectos observados para cada lote de tijolo de papel

LOTE	PRENSA	A/P	ASPECTOS OBSERVADOS
L001	M e SC	3:1	Os tijolos M aparentemente mais pesados que os tijolos SC, porém mais inteiros e firmes do que aqueles.
L002	SC	3:1	Tijolos mais leves que os tijolos M, porém presença de mais poros e quebradiços.
L003	M e SC	3:1	Os tijolos SC apresentavam boa aparência, bordas firmes, poucos poros, porém pequenas partículas se desagregaram. Já os tijolos M estavam mais firmes, com bordas firmes e menos poroso que os tijolos SC.
L004	SC	2,5:1	Tijolos aparentemente com muitos poros, quebradiços nas pontas, desagregam com facilidade, mas apresenta uma boa padronização.
L005	M	3:1	Tijolos firmes ao toque, mais porosos que os do L003, bordas firmes e pouca desagregação.
L006	M	3:1	Tijolos firmes, com poucos poros. Alguns tijolos ficaram irregulares.
L007	M	3,3:1	Tijolos firmes, com poucos poros. Sem nenhuma diferença grande em relação aos outros tijolos M.
L008	Q	3:1	Tijolos firmes, com pouquíssimos poros.

Legenda: M = Fôrma de madeira; SC = Prensa de solo-cimento; Q = Fôrma de queijo.

Fonte: Produzido pelos autores.

3.4 COMPACTAÇÃO DO TIJOLO

Para esta discussão, deve-se salientar a variabilidade de desempenho das prensas utilizadas. A fôrma de madeira é mais rústica e exige uma maior impressão de força física

para compactar a mistura em relação às demais, já que a prensa de solo-cimento e queijo contam com articulações mecânicas que auxiliam na compressão da polpa.

A segunda discussão é entorno das variantes mecânicas de cada prensa. A prensa de madeira varia seu nível de compactação consideravelmente, já que está atrelada à capacidade de força física exercida por cada operador. Os tijolos, por sua vez, apresentaram maiores oscilações, tanto em parâmetros visuais, como a questão da porosidade, quanto em mecânicas, tal qual a resistência à compressão do elemento.

Já a de solo-cimento, por ser destinada a compactar solo, mecanicamente, limita a maior compactação da polpa de papel, tendo em vista que a densidade do solo é maior que a da polpa.

Ressalta-se que a capacidade de compactação de um material está atrelada inversamente à densidade dele. Segundo Heinrichs (2010), a densidade dos solos varia entre 1,1 a 1,6 g/cm³. Calculando a densidade aproximada da polpa do projeto, tem-se: 0,18 g/cm³. Esse cálculo partiu da definição química de densidade de um material, que é a razão entre massa e volume ocupado, nesse sentido, a média aproximada da massa da solução, tido como exemplo o lote L005 (Tabela 2 - Controle de pesagens na produção de polpa do lote L005.), é 3.250,40 g, e o volume médio dos baldes usados na produção dela foi de 18 L, ou seja, 18.000 cm³. Assim infere-se que a polpa possui uma capacidade de compressão maior que o solo, que não é suprida, desejavelmente, por essa prensa.

A fôrma de queijo, por sua vez, possui uma menor limitação mecânica no que tange à compactação, pois a manivela giratória consegue gerar movimento de torção vertical até a base de fundo do molde de queijo, retirando o máximo de água presente em detrimento das outras prensas.

A fim de averiguar essa diferença de compactação entre os equipamentos, estudou-se os resultados de perda de água que cada aparato apresentou no processo de prensagem. Para esse cálculo, utilizou-se como referência os lotes: L005, L003 e L008, tendo em vista a utilização da prensa de madeira, solo-cimento e queijo, respectivamente, e o uso da a/p de 3:1, para melhor categorização.

Através da massa da polpa de cada lote, dividiu-se ela pela quantidade de tijolos obtidos, a fim de distinguir os valores de massa para obter a perda de água durante a compactação, como visualizado na Tabela 6. Constatou-se que a fôrma de madeira e de queijo possuem uma maior retirada de água, caso comparado com a de solo-cimento, com aproximadamente 50% de eficiência em detrimento de 14% da outra.

Tabela 6 - Perda de água nos tijolos para cada prensa.

PRENSA	LOTE	QTD DE TIJOLOS	MASSA			PERDA DE ÁGUA	
			POLPA (g)	POLPA P/ 1 TIJOLO	TIJOLO 1º DIA	(g)	(%)
M	L005	9	21.873,00	2430,3	1593	837,3	52,56%
SC	L003	6	10.327,66	1721,3	1506,18	215,1	14,28%
Q	L008	9	14106,48	1567,4	1033,48	533,9	51,66%

Legenda: M = Fôrma de madeira; SC = Prensa de solo-cimento; Q = Fôrma de queijo

Fonte: Produzida pelos autores.

1 Densidade da polpa (***D_{polpa}***): Massa média da polpa (***M_{polpa}***) = 3.250,40g e Volume médio dos baldes (***V_{balde}***) = 18.000 cm³

$$D_{polpa} = \frac{M_{polpa}}{V_{balde}} = \frac{3.250,40}{18.000} = 0,18 \text{ g/cm}^3$$

Relacionado ao tempo gasto, a primeira demora, em média, 35 minutos a cada 2 tijolos, nas outras, no máximo, 15 minutos a cada 2 tijolos. No entanto, quando se investiga os produtos gerados por esses equipamentos, a fôrma de madeira e de queijo resultam em tijolos com características semelhantes e de qualidade considerável: aspecto firme ao toque e poucos poros. Já a prensa de solo-cimento apresentou produtos com mais poros e bordas de fácil desagregação.

É possível inferir pela Tabela 5, juntamente com a análise acima, que a fôrma de queijo consegue reunir boas características de maleabilidade, otimização e eficiência de prensagem.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tijolo de papel surgiu como uma proposta para o reaproveitamento do resíduo sólido gerado pelo descarte do papel no âmbito na Universidade Federal do Rio Grande do Norte - campus Natal, bem como de fornecer ao universo da construção civil e às outras áreas uma proposta de tijolo sustentável.

Buscou-se descrever a gestão de resíduos sólidos, métodos e equipamentos utilizados no processo de produção desse tijolo e análises dos resultados obtidos a partir das definições de procedimento. Nessa perspectiva, a gestão desse processo, aliado à infraestrutura e recursos disponíveis na instituição de ensino, divide-se em: coleta, triagem, limpeza, trituração, produção de polpa, prensagem, secagem, estoque e pesagens.

Dado as etapas, foram delimitadas algumas definições, tais quais: o uso do papel sulfite como matéria prima, estando disposto em um tamanho de 7 mm, ao qual possibilitou uma maior otimização da produção da polpa de papel; a definição de uma

relação entre os insumos utilizados em uma proporção de 3:1, ou seja, a cada uma unidade de papel tem-se o uso de três do solvente, ao qual elucidou uma maneira eficaz de utilizar tais materiais; além do estabelecimento de um período de repouso que possibilite que a solução possa ser encontrada de um modo ideal, estando localizada em um local ventilado, coberto e seguro. Ademais, o processo de prensagem contou com a utilização de três tipos de fôrmas, sendo elas: a de madeira artesanal, a de solo-cimento e a de queijo, ao qual verificou-se distinções: geométricas, referente ao nível de compactação, em função da estrutura que tais aparatos oferecem. De tal forma, a fôrma improvisada, comumente utilizada para a fabricação de queijos, demonstrou, baseados nos estudos realizados, possuir capacidade em oferecer melhores resultados, caso comparadas aos outros instrumentos.

Por fim, o presente documento consegue propor uma metodologia de processo produtivo do tijolo de papel baseado em análises bibliográficas e testes laboratoriais, na qual consegue ser econômica, otimizada, eficiente e produtiva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradece-se às professoras Ma. Karla Susanna e Dra. Diana Carla por todo o apoio e incentivo, além dos significantes conhecimentos que passaram durante toda a realização do projeto de pesquisa.

Além disso, gratidão ao Departamento de Meio Ambiente, da UFRN, por fornecerem dados imprescindíveis à pesquisa, como também o papel usado na fabricação dos tijolos.

Ademais, se presta agradecimento a todos os servidores do Laboratório de Materiais de Construção e do Laboratório de Materiais Cerâmicos, ambos localizados na UFRN, por serem sempre solícitos durante o uso do espaço e de alguns equipamentos para o trabalho, como também por fornecer conhecimentos que foram de bastante relevância.

Por fim, se quer agradecer especialmente à Universidade Federal do Rio Grande do Norte como um todo por proporcionar essa oportunidade e o seu corpo docente, que sempre está disponível para ajudar no que for necessário.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2019. 68 p.

ALBUQUERQUE, Karla Susanna Correia Cavalcanti de et al. Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento de Resíduos em Universidades. In: GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS: UNIVERSIDADE & COMUNIDADE, 2017, Campina Grande. Gestão Integrada de Resíduos: Universidade & Comunidade v.2 [...]. Campina Grande: EPGRAF, 2018. p. 95-98. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Roberto_Francisco/publication/322901562_Gestao_integrada_de_residuos_universidade_comunidade_v2/links/5a74f40faca2722e4ded0eeb/Gestao-integrada-de-residuos-universidade-comunidade-v2.pdf. Acesso em: 27 jul. 2020.

ANCAT. Anuário da Reciclagem (2017 - 2018). São Paulo: Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, 2018. 56 p.

ANTENOR, Samuel et al. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 24 set. 2020.

BARRETO, Luisa Gonçalves et al. REEC- Revista Eletrônica de Engenharia Civil. Análise do comportamento de tijolos ecológicos modulares de papel reciclável quanto à capacidade de absorção de água e à durabilidade. 2017, Goiás. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/40884/pdf>. Acesso em: 04 jul. 2020

BASSANI, P. D. Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais: estudo de caso em Vitória – ES. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. 2011.

BRAZIL, Food Safety. Custo x Benefícios na escolha do papel toalha para secagem das mãos. 21 ago. 2016. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/custo-x-beneficios-na-escolha-do-papel-tolha-para-etapa-de-secagem-das-maos/#:~:text=Pap%C3%A9is%20fabricados%20com%20100%25%20de,deve%20absorver%20rapidamente%20a%20%C3%A1gua>. Acesso em: 22 set. 2020

HEINRICH, Reges. Densidade do solo e de partículas. São Paulo – SP. 2010. Disponível em: http://www2.dracena.unesp.br/graduacao/arquivos/solos/aula_3_densidade_do_solo_e_de_particulas.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.

NOUGUEIRA, Maria Dias; MINAS, Ramon Santos de; KWIATKOWSKI, Angela; SILVA, Francisco Xavier da; JARDIM, Gleison Nunes, JUNIOR, Leonardo Vieira. Desenvolvimento de um tijolo ecológico de encaixe utilizando resíduos de vidro e isopor triturados. Brazilian Journal Of Development. Curitiba, v.7, n.8, p.77335-77349, ago. 2021. Acesso: 07 ago. 2021

01PROGRAMA DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS DA UFRN - PROGRES. [S. l.], 8 abr. 2010. Disponível em: <http://www.meioambiente.ufrn.br/infra.html>. Acesso em: 5 jul. 2020.