

O Papelão como material de construção

Pavilhão temporário de papelão

TECNOLOGIA | TUTOR: Arq°. MERCÍLIA LOMBE

Claudina Pereira Fernandes

Maputo | 2024





Faculdade de Arquitectura e Planeamento Físico
TRABALHO DE CULMINAÇÃO DO CURSO

Pavilhão temporário de papelão

O Papelão como material de construção

TECNOLOGIA | TUTOR: Arq^ª. MERCÍLIA LOMBE

Claudina Pereira Fernandes

Maputo | 2024

Declaração de Honra

Eu Claudina Pereira Fernandes, estudante do curso de Licenciatura em Arquitectura e Planeamento Físico, na Faculdade de Arquitectura e Planeamento Físico da Universidade Eduardo Mondlane, com o código de estudante 20180559, declaro por minha honra que este trabalho é da minha autoria, não resultado de cópia, plágio ou qualquer método ilícito para a produção do mesmo e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto e bibliografia.

Declaro que esta é a primeira vez que o submeto para obtenção do grau académico numa instituição educacional.

Termo de Aprovação

Claudina Pereira Fernandes

O papelão como material de construção – Pavilhão temporário de papelão

Monografia submetida ao Júri, designado pela Coordenação do TCC da Faculdade de Arquitectura e Planeamento Físico da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciado em Arquitectura e Planeamento Físico.

Monografia aprovada em: Maputo, 17 de Maio de 2024.

Por:

Mercília Lombe

Lic. Mercília Lombe, Arq.

Mestre Mohamad Arif Mussagi

Mestre Mohamad Arif Mussagi, Arq.

Mestre Claida Abubakar

Mestre Claida Abubakar, Arq.



Termo de Aprovação

Claudina Pereira Fernandes

O Papelão como Material de Construção Pavilhão Temporário de Papelão

Dissertação submetida ao Júri, designada pelo Reitor da Universidade Eduardo Mondlane, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Planeamento Urbano.

Dissertação aprovada em: Maputo, 30 de Abril de 2024.

Por:

Lic. Mercilia Lombe, Arq.
Universidade Eduardo Mondlane

Lic. Claida Abubakar, Arq.
Universidade Eduardo Mondlane

Lic. Mohamad Arif Mussagy, Arq.
Universidade Eduardo Mondlane

Agradecimentos.

Este trabalho foi possível graças ao apoio e contribuição de todos aqueles que, directa ou indirectamente, colaboraram para sua realização. À todos vai a minha gratidão.

Aos meus queridos pais, **Ilídio Fernandes** e **Maria Rita Fernandes** pelo amor, apoio e suporte durante toda a minha trajetória académica.

Ao meu irmão, **Rosário Pereira Fernandes**, minha inspiração, pelo amor e apoio incondicional.

Ao **Francisco Xavier Jessen**, por todo amor, pelo apoio moral e ensinamentos durante o curso.

Aos amigos e colegas do curso, especialmente ao grupo **VTL**, com quem muito aprendi.

Ao corpo de docentes da faculdade, que me acompanhou durante todo percurso de aprendizagem, especialmente a minha orientadora, Arq. Mercília Lombe, pela disponibilidade, pelos ensinamentos e motivação durante o período de elaboração do trabalho.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, **Ilídio Fernandes** e **Maria Rita Fernandes**,

Ao meu irmão, **Rosário Pereira Fernandes**,

E aos Meus Familiares.

“A solidez de um edifício não tem nada a ver com a resistência do material.”

Shigeru Ban

Resumo.

A poluição do meio ambiente causada pelo ramo da construção civil é uma preocupação crescente devido aos diversos impactos negativos que podem causar. Isso inclui a geração de resíduos de construção e demolição, emissões de poluentes atmosféricos, esgotamento de recursos naturais, contaminação do solo e da água devido a vazamentos de produtos químicos e resíduos de construção, entre outros. Portanto, diminuir a poluição ambiental causada pelo sector da construção civil é essencial para controlar e reduzir os impactos ambientais.

Em resposta a este cenário, este trabalho de pesquisa de culminação de curso tem como objectivo principal estudar tubos de papelão, inspirados na abordagem do arquitecto japonês Shigeru Ban, como um material de construção de baixo impacto ambiental.

O estudo inicia com as fases de produção dos tubos de papelão, desde a matéria-prima até o produto final, bem como os processos de tratamento necessários para garantir sua adequação às exigências da construção civil. Em seguida, é feita uma

análise das características e propriedades dos tubos de papelão, como sua resistência, seu desempenho térmico e acústico, suas aplicações e as diferentes formas de conceber um projecto com os mesmos.

Após um estudo profundo do material, o trabalho avança para a fase de projecto. Foi desenvolvido um projecto de pavilhão temporário alternativo para os pavilhões temporários da Feira Internacional de Maputo (FACIM), localizado em Marracuene. Este projecto inclui a elaboração de desenhos arquitetónicos e detalhes construtivos com o objectivo de demonstrar as possibilidades criativas e práticas do uso deste material na arquitectura.

Por fim, são apresentadas as vantagens e desvantagens do uso dos tubos através de uma análise SWOT, considerando aspectos como sustentabilidade, custo, resistência e durabilidade.

Palavras-chave: **Tubos de papelão, construção temporária, reciclagem.**

Abstract.

Environmental pollution caused by the construction industry is a growing concern due to the various negative impacts it can cause. This includes the generation of construction and demolition waste, emissions of air pollutants, depletion of natural resources, soil and water contamination due to chemical leaks and construction waste, among others. Therefore, reducing environmental pollution caused by the construction sector is essential to control and reduce environmental impacts.

In response to this scenario, this course culminating research work has as its main objective to study cardboard tubes, inspired by the approach of the Japanese architect Shigeru Ban, as a construction material with low environmental impact.

The study begins with the production phases of cardboard tubes, from raw material to the final product, as well as the treatment processes necessary to ensure their suitability for civil construction requirements. Next, an analysis is made of

the characteristics and properties of cardboard tubes, such as their resistance, thermal and acoustic performance, their applications and the different ways of designing a project with them.

After an in-depth study of the material, the work moves to the design phase. An alternative temporary pavilion project was developed for the temporary pavilions of the Maputo International Fair (FACIM), located in Marracuene. This project includes the preparation of architectural drawings and construction details with the aim of demonstrating the creative and practical possibilities of using this material in architecture.

Finally, the advantages and disadvantages of using tubes are presented through a SWOT analysis, considering aspects such as sustainability, cost, resistance and durability.

Keywords: Cardboard tubes, temporary construction, recycling.

Conteúdos

01

ENQUADRAMENTO DO TEMA

1.1	Introdução	18
1.1	Objectivos	18
1.2	Motivação	19
1.3	Metodologia	20

02

REVISÃO TEÓRICA - O PAPELÃO

2.1	Tubos de papelão.	24
2.2	Aplicação dos tubos de papelão na construção	56
2.3	Construções com tubos de papelão em África	72
2.5	Disponibilidade do papelão em Maputo	74

03

O PROJECTO

3.1	Pavilhão de Papelão	78
3.1.1	Contextualização	78
3.1.2	Localização	80
3.1.3	Referências Projectuais	82
3.1.4	Premissas	86
3.1.5	Plantas	87
3.1.6	Alçados	82
3.1.7	Cortes	96
3.1.8	Detalhes	98
3.1.9	Imagens	100
3.2	Processo Construtivo	107
3.3	Estimativa de Custos	114

04

CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1	Análise SWOT	117
4.2	Conclusão	119
4.3	Recomendações	120
4.4	Referências Bibliográficas	121

Lista de desenhos, imagens e tabelas.

Fig.01: Fonte - A1 Amette

Fig.02: Fonte - Shiger Ban Architects.

Fig.03: Fonte - Shiger Ban Architects.

Fig.04: Hidrapulper. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

Fig.05: Depulador. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

Fig.05.1: Hidrociclone (Cleaner). Fonte: Alvarenga, D. Reis, R.

Fig.06: Mesa formadora. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

Fig.07: Prensas. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

Fig.08: Cilindros de secagem. Fonte: Souza, C. (2014)

Fig.09: Rebobinagem. Fonte: Souza, C. (2014)

Fig.09.1: Faixas de papel kraft armazenados na indústria de produção de tubos de papelão. Fonte: SALADO, G. (2006)

Fig.10: Faixas de papel kraft dispostas na máquina de produção de tubos de papelão. Fonte: SALADO, G. (2006)

Fig.11: Passagem das faixas de papel kraft pelos tanques de cola. Fonte: SALADO, G. (2006)

Fig.12: Faixas de papel kraft a ser enroladas no cilindro metálico. Fonte: SALADO, G. (2006)

Fig.13: Corte do tubo de papelão. Fonte: SALADO, G. (2006)

Fig.14: Tubos de papelão na estufa de secagem. Fonte: SALADO, G. (2006)

Fig.14.1: Tubos de papelão armazenados. Fonte: SALADO, G. (2006)

Fig.15: Esquema das direções do papel. Fonte: Autora

Tab.15.1: Comparação das propriedades do papelão com materiais de construção convencionais.

Fig.16: Tubos de papelão armazenados antes dos ensaios. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.17: Corpo-de-prova durante o ensaio de resistência à compressão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado

Tab.18: Gráfico do ensaio de resistência à compressão. Fonte: Gerusa Salado. Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados. Todos os corpos-de-prova rotacionaram cerca de $0,5^\circ$ no sentido horário.

Tab.18.1: Gráfico do ensaio de resistência à compressão. Fonte: Gerusa Salado. Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados. Todos os corpos-de-prova rotacionaram cerca de $0,5^\circ$ no sentido horário.

Fig.19: Corpo-de-prova sofrendo esmagamento durante o ensaio de resistência à compressão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado

Fig.20: Ondulações formadas no corpo-de-prova após o ensaio de resistência à compressão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.21: Corpo-de-prova antes da aplicação de carga e após o início da flecha. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.

Fig.22: Medição da flecha e enrugamento da extremidade do corpo-de-prova. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.

Fig.23: Tubo totalmente flambado e sem estabilidade e tubo rompendo com o acréscimo de carga. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.

Tab.24: Resultados do ensaio de flambagem. Fonte: Gerusa Salado

Tab.25: Relação carregamento-flecha observada durante o ensaio de resistência à flexão. Fonte: Gerusa Salado.

Tab.26: Corpo-de-prova rompido durante o ensaio de flambagem. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Tab.27: Dimensões dos corpos-de-prova testados no ensaio de resistência à flexão.

Tab.28: Desenho esquemático do ensaio de resistência à flexão pelo Método dos Três Pontos (NBR14576:2000). Fonte: Desenho feito por Gerusa Salado.

Tab.29: Prismas-suporte e de pressão confeccionados conforme a NBR14576:2000. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.30: Deflectômetros posicionados no corpo-de-prova. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.

Fig.31: Corpo-de-prova preparado para o ensaio de resistência à flexão. Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.32: Corpo-de-prova durante o ensaio de resistência à flexão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.33: Corpo-de-prova fletido. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.34: Resultados do ensaio de resistência à flexão.

Fig.35: Perda de contato entre o corpo-de-prova e o deflectômetro. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.36: Corpo-de-prova recebendo carga superior ao seu limite de resistência. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Fig.37: Propriedades dos tubos de papelão usados nos projectos de Shigeru Ban.

Fig.38: Pilares e vigas em concreto armado. Fonte: S3DA design.

Fig.39: Vista Interior da Escola Temporária de Chendu, China, 2008. Fonte: Archdaily.

Fig.40: Vista interior do Pavilhão Kyotographie, 2015. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.41: Vista exterior da Cabana Yakushima, Japão, 2013. Fonte: Arquitectura viva.

Fig.42: Vista interior da Cabana Yakushima, Japão, 2013. Fonte: Arquitectura viva.

Fig.43: Vista exterior do Pavilhão Temporário do Centro Garagem de Cultura Contemporânea. Fonte: Archello.

Fig.44: Vista interior do Pavilhão Temporário do Centro Garagem de Cultura Contemporânea. Fonte: Shigeru Ban architects.

Fig.45: Alvar Aalto exhibition, Tóquio, 1986 – Shigeru Ban. Fonte: Researchgate.

Fig.46: Catedral de papelão, Nova Zelândia, 2013 – Shigeru Ban. Fonte: Shigeru Ban architects.

Fig.47: Cofragem de pilares de concreto com madeira. Fonte: Alsina.

Fig.48: Cofragem de pilares de concreto com tubos de papelão. Fonte: Pentapak.

Fig.49: Exterior da Paper Log House, Kobe, 1995. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.50: Exterior da Paper Log House, Índia, 2001. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.51: Exterior da Cardboard Cathedral – Nova Zelândia, 2013. Fonte: Archdaily.

Fig.52: Vista exterior Pavilhão Viajante da Camper, 2011. Fonte: Shigeru Ban architects.

Fig.53: Vista interior Pavilhão Viajante da Camper, 2011. Fonte: Shigeru Ban architects.

Fig.54: Vista exterior da Igreja de Papelão de Kobe Pavilhão Viajante da Camper, 1995. Fonte: Shigeru Ban architects.

Fig.55: Vista interior da Igreja de Papelão de Kobe Pavilhão Viajante da Camper, 1995. Fonte: Shigeru Ban architects.

Fig.56: Vista exterior da Catedral de Papelão, Nova Zelândia, 2013. Fonte: Archdaily.

Fig.57: Vista interior da Catedral de Papelão, Nova Zelândia, 2013. Fonte: Archdaily.

Fig.58: Vista exterior da Casa de Papelão, Yamanashi (Japão), 1995. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.59: Esquema da planta e da composição da Casa de Papelão, Yamanashi (Japão), 1995. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.60: Processo de construção das Casas Emergencias da Turquia e Síria, 2023. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.61: Vista exterior das Casas Emergencias da Turquia e Síria, 2023. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.62: Vista exterior das Casas Emergencias de Bhuj (Índia), 2001. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.63: Vista exterior das Casas Emergencias de Bhuj (Índia), 2001. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.64: Construção da estrutura metálica de fundação do pavilhão temporário The IE Paper Pavilion, 2013. Fonte: IE Business School (2013). "Timelapse video: The IE Paper Pavilion (Shigeru Ban)" [Vídeo].

Fig.65: Estrutura metálica de fundação do pavilhão temporário The IE Paper Pavilion, 2013. Fonte: IE Business School (2013). "Timelapse video: The IE Paper Pavilion (Shigeru Ban)" [Vídeo].

Fig.66: Início da concretagem da base do edifício de Proposta de vedação vertical com tubos de papelão de Gerusa Salado, 2011. Fonte: Gerusa Salado.

Fig.67: Vista exterior do edifício de Proposta de vedação vertical com tubos de papelão de Gerusa Salado, 2011. Fonte: Gerusa Salado.

Fig.68: Vista interior da Escola Primária Hualin (2008). Fonte: Shigeru Ban Architects

Fig.69: Peças de madeira. Fonte: Shigeru Ban Architects

Fig.70: Estrutura da Escola Primária Hualin em construção (2008). Fonte: Shigeru Ban Architects

Fig.71: Ring Pass Field Hockey Club, Nils Eekhout, 2010. Fonte: Octatube.

Fig.72: Ponte de Papel, Shigeru Ban, 2007. Fonte: Shigeru Ban Architects

Fig.73: Ponte de Papel, Shigeru Ban, 2007. Fonte: Shigeru Ban Architects

Fig.74: Ponte de Papel, Shigeru Ban, 2007. Fonte: Shigeru Ban Architects

Fig.75: Montagem de colunas e vigas em tubo de papelão. Fonte: Shigeru Ban Architects

Fig.76: Exterior da The Paper Tube House, Quênia. Fonte: Archidaily.

Fig.77: Detalhe da The Paper Tube House, Quênia. Fonte: Archidaily.

Fig.78: RLR ecoponto - contentor de armazenamento do material recolhido. Fonte: Autora.

Fig.79: RLR Ecoponto – interior do contentor de armazenamento do material recolhido. Fonte: Autora.

Fig.80: Mapa de localização do Ecoponto. Fonte: Google Earth.

Fig.81: Tabela dos materiais recolhidos durante o ano 2022. Fonte: Tabela fornecida pela RLR.

Fig.82: Dados climatológicos de Marracuene. Fonte: Climate Data. ORG. 2021.

Fig.83: Dados climatológicos de Marracuene. Fonte: Climate Data. ORG. 2021.

Fig.84: Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.85: Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid em processo de construção. Fonte: IE Business School

Fig.86: Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid em processo de construção. Fonte: IE Business School

Fig.87: Vista interior do Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.88: Salão Principal do Festival de Odawara. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.89: Vista interior do Salão Principal do Festival de Odawara. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Fig.90: Vista exterior do Salão Principal do Festival de Odawara. Fonte: Shigeru Ban Architects.

01

CAPÍTULO

ENQ. TEÓRICO - INTRODUÇÃO

- 1.1 Objectivos
- 1.2 Motivação
- 1.3 Metodologia

Introdução

No contexto actual de preocupações ambientais e busca por práticas mais sustentáveis na arquitectura e construção civil, o estudo de materiais alternativos de baixo impacto ambiental tornou-se essencial. Nesse sentido, este trabalho de pesquisa de culminação de curso explora o potencial dos tubos de papelão inspirados na abordagem do arquitecto Shigeru Ban como um material alternativo de baixo impacto ambiental na construção civil. O arquitecto Shigeru Ban se destaca por ser conhecido por sua abordagem de uso criativo de materiais simples, acessíveis e amigos do ambiente, como o papelão.

Após uma revisão da literatura sobre as propriedades, características, possibilidades de reciclagem do material, foi desenvolvido um projecto de um pavilhão temporário alternativo para os pavilhões temporários da Feira Internacional de Maputo (FACIM), situado em Marracuene.

Os tubos de papelão podem ser feitos de fibras virgens da celulose, que provêm de plantas, ou de papel reciclado. Uma vez que a indústria da construção tem impactos ambientais negativos significativos, se propõe nesta solução trabalhar com tubos de papelão feitos de papel reciclado, que é facilmente encontrado no nosso contexto.

Objectivo Geral

- Estudar o uso do papelão na construção, inspirado na abordagem do arquitecto Shigeru Ban, com o intuito de explorar um material de baixo impacto ambiental.

Objectivos Específicos

- Apresentar características, propriedades e aplicações dos tubos de papelão com foco na construção;
- Apresentar as vantagens e desvantagens do uso de tubos de papelão na construção;
- Desenvolver um projecto de um Pavilhão Temporário de tubos de papelão alternativo aos pavilhões temporários da FACIM.

Motivação

A construção civil tem vários impactos no meio ambiente, incluindo a degradação de habitats naturais, o consumo de recursos naturais, a emissão de poluentes atmosféricos, a geração de resíduos e o consumo de energia. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), **a construção civil é responsável por aproximadamente 38% das emissões globais de gases de efeito estufa.**

A escolha do tema vem da vontade pessoal da autora de estudar um material que tem **baixo impacto ambiental desde a fabricação, a construção até a demolição** pela importância de proteger o meio ambiente para as gerações futuras. Identificou-se potencialidade no papelão por ser um material **reciclável, reutilizável e amplamente acessível** no nosso contexto.

Além disso, o processo de construção com tubos de papelão, em comparação com o de construção com materiais convencionais, é limpo e de baixo impacto ambiental pois a produção dos tubos pode ser feita com papel reciclado. O uso de papel reciclado na produção dos tubos de papelão contribui positivamente para o meio ambiente por reduzir a quantidade de resíduos e reduzir a necessidade de extração de matéria-prima virgem.

Metodologia

01

Escolha do tema e determinação dos objectivos do trabalho.

Para se escolher o tema, foi feita uma pesquisa geral de materiais de baixo impacto ambiental até se chegar ao papelão.

Após a escolha do material, fez-se a definição dos objectivos específicos que este trabalho de pesquisa pretende alcançar.

02

Revisão bibliográfica.

Esta etapa envolveu uma pesquisa extensiva em literatura acadêmica, artigos científicos, livros, teses e outras fontes relevantes relacionadas ao papelão e às obras do arquitecto Shigeru Ban.

Isso incluiu a colecta, organização e análise de informações sobre as propriedades, características, aplicações, vantagens e desvantagens do papelão, bem como a compreensão das estratégias e técnicas usadas por Shigeru Ban em seus projectos arquitetónicos.

03

Escolha do objecto e levantamento de dados

Após o estudo do material e de projectos possíveis a ser desenvolvidos, concluiu-se que o objecto ideal é um edifício de carácter temporário.

Decidido o objecto e a sua localização, começou a fase de levantamento de dados relevantes para o mesmo. Nesta fase foram feitas visitas ao local, levantamento fotográfico, entrevista e visita à instituição Agência para a Promoção de Investimento e Exportações (APIEX) que é responsável pela organização da FACIM, para melhor entender como o evento funciona e entrevista e visita à instituição Recolha de Lixo Reciclável (RLR).

04

Ensaio projectual.

Nesta fase se usa a informação adquirida através da revisão bibliográfica e do levantamento de dados para se fazer um ensaio projectual. Isto é, desenvolvimento de um projecto arquitetónico detalhado, que utiliza os conceitos, técnicas e materiais estudados ao longo deste trabalho.

02

REVISÃO TEÓRICA - O PAPELÃO

- 2.1 Tubos de papelão.
- 2.2 Aplicação dos tubos de papelão na construção
- 2.3 Construções com tubos de papelão em África
- 2.4 Disponibilidade do papelão em Maputo

O papelão.

Tubos de Papelão

O **papelão** é definido como um tipo mais grosso de papel, geralmente de cor marrom claro, caracterizado por sua rigidez e espessura relativamente maior em comparação com o papel comum. (Cambridge Dictionary).

É composto principalmente de celulose, que é a substância que dá resistência ao papel. A celulose pode ser obtida a partir de plantas ou de papel reciclado. Além da celulose, o papelão é composto por outras substâncias como colas, pigmentos ou impermeabilizantes dependendo do tipo e da aplicação do papelão.

O papelão é frequentemente feito de **papel kraft**, conhecido por sua cor marrom, é um tipo de papel resistente e durável. Por sua vez, o papel kraft pode também ser feito da polpa de madeira virgem como também da reciclagem de papel.

Os **tubos de papelão** são cilindros fabricados a partir de papelão, compostos por várias camadas de papel prensado enroladas em uma forma cilíndrica. Estes têm diversos diâmetros, comprimentos e espessuras.

O papelão na arquitetura pode ser usado em formas de placas planas e elementos tubulares:

Placas planas.

a) Museu de Arte das Crianças Nemunoki, Kakegawa, Japon - Shigeru Ban – 1999.

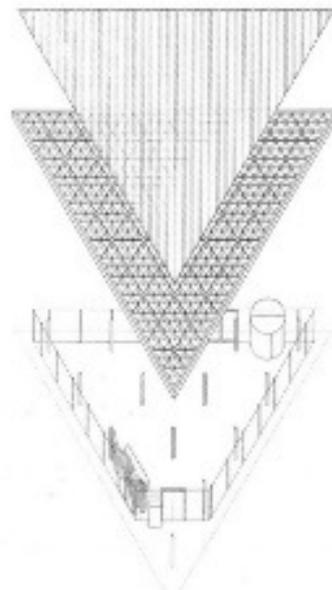


Fig.01: Fonte - A1 Amette

Elementos tubulares.

a) Casa de Papel, Japão - Shigeru Ban - 1995.



Fig.02: Fonte - Shigeru Ban Architects.



Fig.03: Fonte - Shigeru Ban Architects.

Fases da produção dos tubos de papelão.

A produção de tubos de papelão passa por 3 etapas principais:
Colecta da matéria prima - produção do papel Kraft – produção dos tubos de papelão.

Este trabalho foca na produção de tubos de papelão a partir de papel reciclado. Após a colecta da matéria prima, inicia o processo de produção do papel Kraft feita nas seguintes fases:

1. Preparação da massa



Fig.04: Hidrapulper. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

A matéria-prima é colocada em um tanque desintegrador conhecido como Hidrapulper. No tanque é adicionada a água que resulta na desagregação da matéria-prima, isto é, transformada em pequenos pedaços de papel que formam uma suspensão fibrosa conhecida como massa.

2. Filtragem e depuração da massa.



Fig.05: Depurador. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

Esta etapa consiste na retirada de impurezas pesadas da massa tal como metais. No depurador as impurezas são descartadas pelo fundo e a polpa continua o processo através da parte superior do depurador.



Fig.05.1: Hidrociclone (Cleaner). Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

Na parte a seguir do processo a massa passa pelo hidrociclone (cleaner) onde é retirado as impurezas mais leves: isopor, areia e plásticos.

Após a polpa passar por essas etapas de limpeza são adicionados produtos químicos para o papel ter melhor aderência no processo de formação da folha.

3. Desaguamento e prensagem da folha.



Fig.06: Mesa formadora. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

A formação do papel é feita pela distribuição da polpa sobre a tela formadora e a água é drenada pela ação da gravidade. Em seguida a polpa entra na mesa formadora que contém equipamentos que fazem a sucção da água para reduzir ainda mais o seu teor de humidade.

4. Prensagem.



Fig.07: Prensas. Fonte: Alvarenga, D. Reis, R. (2018).

A finalidade da prensa é eliminar o excesso de água e fortalecer a estrutura do papel ao aproximar as fibras. Durante o processo de prensagem, o papel é comprimido pelos feltros, o que resulta na solidificação da estrutura da folha de papel.

5. Secagem em cilindros aquecidos.



Fig.08: Cilindros de secagem. Fonte: Souza, C. (2014)

Em seguida é feita a secagem por uma série de cilindros de secagem aquecidos. O aquecimento nos cilindros é resultado da condensação de vapor dentro deles, estes aquecem o papel de maneira regulada para manter a qualidade do papel produzido.

6. Rebobinagem.



Fig.09: Rebobinagem. Fonte: Souza, C. (2014)

Para terminar o processo de produção de papel Kraft de papel reciclado, o papel é encaminhado para a enroladora, transformado em bobinas e armazenado.



Fig.09.1: Faixas de papel kraft armazenados na indústria de produção de tubos de papelão. Fonte: SALADO, G. (2006)

Para a produção dos tubos de papelão, ainda na fábrica de papéis, o papel kraft é cortado em faixas e enrolado em bobinas, que são encaminhadas para as indústrias de tubos de papelão.

7. Disposição das bobinas de papel Kraft na máquina que produz os tubos de papelão.



Fig.10: Faixas de papel kraft dispostas na máquina de produção de tubos de papelão. Fonte: SALADO, G. (2006)

A fase a seguir da produção do papel Kraft é a fase de produção dos tubos de papelão, feito da seguinte forma:

8. Passagem das faixas de papel Kraft pelos tanques de cola.



Fig.11: Passagem das faixas de papel kraft pelos tanques de cola. Fonte: SALADO, G. (2006)

9. Passagem pelos cilindros de modulação dos tubos.



Fig.12: Faixas de papel kraft a ser enroladas no cilindro metálico. Fonte: SALADO, G. (2006)

10. Corte do tubo.



Fig.13: Corte do tubo de papelão. Fonte: SALADO, G. (2006)

Segundo Lacerda (2006), as faixas de papel kraft que formam as camadas de revestimento interno e externo do tubo são passadas em uma cola líquida à base de acetato de polivinila, mais conhecido como PVA e apenas as camadas internas da parede do tubo são banhadas em uma cola líquida à base de silicato de sódio, pois esta cola dá um acabamento áspero indesejado para as superfícies dos tubos porém dá maior resistência à flexão e à compressão diametral.

A seguir aos tanques de cola, as faixas são enroladas em espiral em torno de um cilindro metálico giratório com um espaço de no mínimo 2mm entre elas e ganha assim a forma de tubo.

Com o tamanho (comprimento e espessura) desejado são cortados por uma serra.

11. Secagem dos tubos.



Fig.14: Tubos de papelão na estufa de secagem. Fonte: SALADO, G. (2006)

De acordo com Lacerda (2006), os tubos com espessura de até 8 mm secam naturalmente num período de 8 à 10 horas, mas os com espessura superior necessitam passar por secagem em uma estufa num tempo que pode ser de trinta minutos à duas horas.

12. Armazenamento dos tubos.



Fig.14.1: Tubos de papelão armazenados. Fonte: SALADO, G. (2006)

Por fim, os tubos são armazenados para fins posteriores.

Propriedades mecânicas.

Papel e papelão são materiais não homogêneos, anisotrópicos, e higroscópicos. O que significa que cada folha de papel pode diferir uma da outra, consequentemente, cada tubo de papelão pode diferir um do outro.

As propriedades mecânicas do papelão são determinadas pelas propriedades das fibras utilizadas na produção do papel, pela ligação entre as fibras e pela sua disposição geométrica. As propriedades químicas das fibras dependem da matéria-prima (fresca ou reciclada, madeira dura ou macia) e do método de polpação utilizado (químico, mecânico, químico-mecânico, etc.).

A qualidade das ligações entre as fibras são afetadas pela quantidade de fibras, cargas e aditivos. Por últi-

mo, as propriedades mecânicas do papel também são determinadas pelo processo de produção (formação, prensagem, secagem, calandragem, etc.). (LATKA, Jerzy F. 2017)

Quando o papel é formado, as fibras de celulose são dispostas principalmente em duas direções. Direção da máquina (MD), que representa cerca de 70-80% das fibras e direção transversal à máquina (CD), que representa aproximadamente 20% das fibras. Além disso, algumas fibras podem estar dispostas perpendicularmente à direção da folha de papel, que é chamada de direção Z (ZD). (DOOREN, E., 2006 Apud LATKA, Jerzy F., Paper in architecture: Research by design, engineering and prototyping, 2017, p. 82. Original inglês)

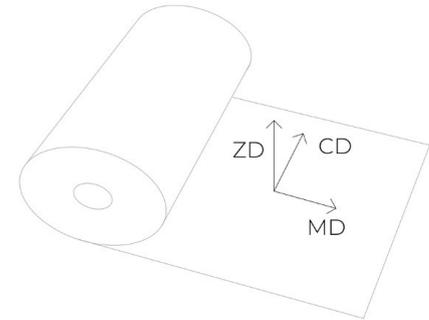


Fig.15: Esquema das direções do papel. Fonte: Autora

Para comparar as propriedades mecânicas do papel com o material de construção tradicional, as suas propriedades são apresentadas na tabela X. Aço, concreto e vidro são materiais fortes e rígidos, mas por outro lado são pesados. O papel tem uma densidade de gramatura comparável à da madeira. A madeira, assim como o papel, é um material anisotrópico.

A madeira é mais forte na direção da fibra enquanto o papel na direção da máquina. A tabela mostra que o papelão se enquadra na gama de materiais de construção, porém apresenta rigidez muito baixa. Os dados apresentados na tabela foram colectados por Julia Schonwalder.

ISOTRÓPICO	Módulo de elasticidade [GPa]		Tensão de compressão final [MPa]		Tensão de tração final [MPa]		Densidade de peso [kN/m ³]	Energia embutida [MJ/kg]	Reciclabilidade
Concreto C20/25	29		20		2,2		24	1,9	baixa reciclagem
Aço Fe E235	210		360		360		78,5	25	Reciclável
Vidro (EN 572-1) Vidro flutuante	70-75		700-900		30-90		24	13,7	Reciclável
Poliétileno	0,6-0,9		20-30		20-45		9,5	80,9	Reciclável
ANISOTRÓPICO		⊥		⊥		⊥			
Madeira macia	8,5-11	0,6-0,9	35-45	3,0-9	30-80	3,0-4	4,5-6	4,7	Reciclável
Papel	2,0-20	0,5-10	5,0-10	2,0-5	15-45	5,0-20	6,0-9	5,0-20	Reciclável
Cartão 1050g/m ²	3,5	1,6	8	5,0-6	27,1	13,5	6,9	9,4	Reciclável

|| madeira na direção das fibras, papel – direção da máquina

⊥ madeira na direção perpendicular à fibra, papel – direção transversal à máquina

Tab.15.1: Comparação das propriedades do papelão com materiais de construção convencionais.

A tabela inclui os resultados dos testes realizados por Schonwalder em um painel maciço com gramatura 1050m/m². (LATKA, Jerzy F., Paper in architecture: Research by design, engineering and prototyping, 2017, p. 84. Original inglês)

Comparar os tubos de papelão com materiais de construção convencionais usando valores numéricos é desafiador devido à variação significativa nas propriedades dos tubos de papelão, que dependem de factores como o tipo de papelão, o processo de fabricação, o diâmetro e a espessura dos tubos, entre outros, enquanto materiais como aço, concreto e madeira têm propriedades físicas relativamente consistentes e bem definidas.

Portanto, para se usar tubos de papelão como um material de construção, é importante realizar testes e análises específicas para os tubos de papelão em questão, a fim de avaliar suas propriedades e determinar sua adequação para o uso em uma aplicação específica.

No entanto, são apresentados a seguir testes de resistência feitos por Gerusa de Cássia Salado na sua obtenção do título de mestre na Universidade de São Paulo em 2006, e por fim testes feitos em tubos de papelão usados nos projectos de Shigeru Ban.

Ensaio técnicos em tubos de papelão como elementos construtivos

Reforçar que os ensaios a seguir apresentados foram feitos por Gerusa de Cássia Salado na sua tese de mestrado com o tema Construindo com Tubos de Papelão na Universidade de São Paulo em 2006.

Os ensaios apresentados neste trabalho são: ensaio de resistência à compressão, ensaio de flambagem e ensaio de resistência à flexão.

Com relação à parte prática, um dos problemas encontrados para realizar ensaios técnicos em tubos de papelão como elementos construtivos foi a ausência de normas técnicas. Dessa forma, para a realização destes ensaios, buscou-se utilizar as normas técnicas mais pertinentes, fazendo-se pequenas adaptações quando necessário.

Nos ensaios de resistência à compressão, resistência à flexão e flambagem foram ensaiados corpos-de-prova de três espessuras diferentes, sendo 04 mm, 11 mm e 20 mm. Todos possuíam 150 mm de diâmetro interno.



Fig.16: Tubos de papelão armazenados antes dos ensaios. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Ensaio de resistência à compressão

Objectivo

O objectivo deste experimento foi determinar a resistência à compressão de tubos de papelão secos e sem revestimento, com o intuito de se conhecer sua resistência máxima à compressão axial simples.

Corpos-de-prova

Foram ensaiados nove corpos-de-prova, sendo três com 04 mm de espessura, três com 11 mm, e três com 20 mm. Todos possuíam 150 mm de diâmetro interno.

Como não existe uma norma específica para este ensaio, nem foi encontrada uma que se referisse a elementos estruturais tubulares, suas alturas foram definidas conforme a NBR5739/1994, que determina que os corpos-de-prova cilíndricos de concreto devem possuir altura equivalente ao dobro de seu diâmetro, para o ensaio de resistência à compressão. Seguindo este princípio, adotou-se para os tubos de papelão uma altura equivalente ao dobro de seu diâmetro externo.

Dessa maneira, os corpos-de-prova tiveram as seguintes dimensões: 316 x 158 mm, 344 x 172 mm, e 380 x 190 mm; sendo estes valores para altura e diâmetro externo, respectivamente.

Materiais e equipamentos

Para este ensaio foi utilizada uma prensa dotada de uma célula de carga com capacidade para 30 toneladas. Ligado a este equipamento, havia um sistema de aquisição de dados.

Também foram utilizados paquímetros digital e analógico, escalas e um transferidor.

Procedimentos do ensaio

Antes do ensaio, todos os corpos-de-prova tiveram suas medidas de diâmetros interno e externo, espessura e comprimento aferidas com o auxílio de paquímetros e escalas. Após serem dispostos no equipamento de ensaio, foi feita uma pequena marca nos corpos-de-prova, para possibilitar a verificação do ângulo de rotação, gerado durante a compressão.

A velocidade de carregamento utilizada foi constante de 1,0 mm/min, para todos os corpos-de-prova. Considerou-se que, através desta velocidade, a carga seria aplicada de forma bem lenta, não comprometendo o ensaio. Dessa forma, aplicou-se carga até que os corpos-de-prova perdessem sua resistência.



Fig.17: Corpo-de-prova durante o ensaio de resistência à compressão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado

Resultados

Os resultados do ensaio podem ser conferidos na tabela abaixo:

CPs	ϕ_e (mm)	ϕ_i (mm)	SL (cm ²)	SB (cm ²)	P _{máx} (Kgf)	f _{cmáx} (Mpa)	f _{cmáx} (Mpa)
1	193,3	152,6	108,6	293,3	8427	7,8	2,9
2	193,3	152,7	109,4	293,3	8779	8	3
3	193,3	152,5	110,1	293,3	8492	7,7	2,9
Média	193,3	152,5	109,4	293,3	8566	7,8	2,9
4	173,5	151	57,3	236,3	4282	7,5	1,8
5	173,5	150,9	57,6	236,3	4357	7,6	1,8
6	173,5	151	57,3	236,3	4373	7,6	1,9
Média	173,5	151	57,4	236,3	4337	7,6	1,8
7	161,7	152,4	23	205,3	1273	5,5	0,6
8	161,8	152,4	23,2	205,5	1190	5,1	0,6
9	161,4	151,1	22,9	204,5	1294	5,7	0,6
Média	161,6	152,3	23	205,1	1252	5,4	0,6

Sendo:

Φ_e - diâmetro externo;

Φ_i - diâmetro interno;

SL - área líquida da seção;

SB - área bruta da seção;

P_{máx} - carga máxima resistida;

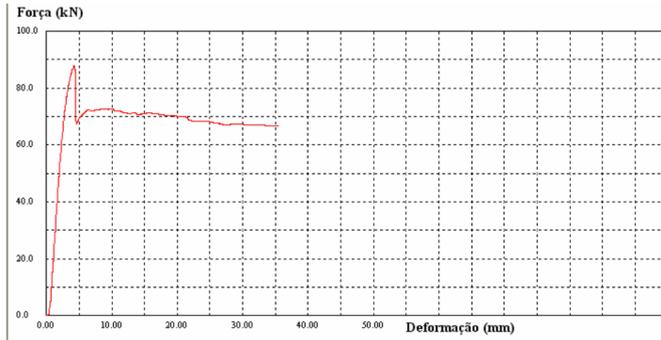
f_{cmáx}* - módulo de resistência à compressão;

f_{cmáx}** - tensão máxima de compressão resistida.

Tab.18: Gráfico do ensaio de resistência à compressão. Fonte: Gerusa Salado. Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados. Todos os corpos-de-prova rotacionaram cerca de 0,5° no sentido horário.

Para se calcular a tensão máxima de compressão resistida, $f_{c\max}^{**}$, considerou-se a área bruta da seção; assim como é feito para os blocos cerâmicos e de concreto utilizados em vedação estrutural.

No entanto, para gerar dados comparáveis com os obtidos e divulgados por Shigeru Ban em seus ensaios, calculou-se o módulo de resistência à compressão dos corpos-de-prova, $f_{c\max}^*$; considerando para este cálculo apenas a área líquida da seção transversal.



Tab.18.1: Gráfico do ensaio de resistência à compressão. Fonte: Gerusa Salado. Gráfico gerado pelo programa de aquisição de dados. Todos os corpos-de-prova rotacionaram cerca de $0,5^\circ$ no sentido horário.

Observação visual/ táctil após o ensaio

Além do ângulo de rotação, pode-se perceber que os corpos-de-prova sofreram esmagamento da borda superior, junto à aplicação de carga. Também apresentaram ondulações paralelas às emendas de papel Kraft, tanto na face externa quanto na face interna (figuras 19 e 20).



Fig.19: Corpo-de-prova sofrendo esmagamento durante o ensaio de resistência à compressão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado

Fig.20: Ondulações formadas no corpo-de-prova após o ensaio de resistência à compressão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Conclusão

Inicialmente, através do gráfico gerado por este ensaio, pode-se perceber que até uma determinada carga, o material possui um comportamento elástico. Após este momento, o material se plastifica, perdendo paulatinamente sua resistência com aumento da deformação, mesmo sob solitação constante.

O material não entra em colapso, o que comprova não ter ruptura frágil. Portanto, para este material é determinante o estado limite de serviço (ELS) e não o estado limite último (ELU).

Devido às ondulações nos corpos-de-prova ocorrerem paralelamente às emendas de papel Kraft e também devido à rotação gerada pela compressão, pode-se perceber que a força de compressão se propaga no sentido e através das faixas de papel Kraft.

Quanto à resistência dos tubos de papelão aos esforços de compressão, pode-se perceber que o papel kraft é o componente que mais contribui para isso.

Ensaio de Flambagem

Objectivo

Inicialmente, o objectivo deste ensaio era comprimir tubos de papelão medianamente esbeltos e esbeltos, para se identificar com quais cargas estes sofreriam flambagem. No entanto, como os parâmetros de índice de esbelteza existentes referem-se aos materiais concreto e aço, sendo incoerente aplicá-los para os tubos de papelão, os corpos-de-prova foram dimensionados por outro critério.

Assim sendo, o primeiro objetivo deste experimento foi identificar se ocorreria flambagem nos corpos-de-prova com as dimensões propostas e, caso isto ocorresse, o segundo objetivo seria identificar a carga que levaria os tubos a flambarem e aferir a flecha gerada.

Corpos-de-prova

Decidiu-se, neste ensaio, testar tubos de papelão de mesmo diâmetro interno, 150 mm, e espessuras de 04 mm, 11 mm e 20 mm. Como comprimento, adotou-se uma medida possível e usual de pé-direito, sendo 2500 mm. Foram ensaiados três corpos-de-prova de cada espessura.

Materiais e equipamentos

Para este ensaio usou-se um pórtico de reação, dotado de um macaco hidráulico acionado por uma bomba eletro-hidráulica, uma célula de carga com capacidade para 24 toneladas e um aparelho Transdutec. Também foram utilizados paquímetro digital e analógico, trena e uma régua de madeira.

Procedimentos do ensaio

Antes do ensaio, todos os corpos-de-prova tiveram suas medidas de diâmetros interno e externo, espessura e comprimento aferidas com o auxílio de paquímetro e trena.

Após serem dispostos no equipamento de ensaio, foi feita uma pequena marca nos corpos-de-prova, para possibilitar que se verificassem possíveis ângulos de rotação, gerados durante a compressão.

As cargas foram aplicadas em graduações de 500 kgf até que se observasse a perda de estabilidade global do elemento.

A cada 500 kgf aplicados, observou-se se os corpos-de-prova haviam rotacionado, mediu-se com uma trena os deslocamentos entre os pratos inferior e superior do equipamento e, encostando uma régua de madeira no sentido longitudinal em vários pontos da face externa dos tubos de papelão, pode-se verificar o início da flecha e acompanhar o seu progresso; até que o elemento perdesse totalmente a estabilidade.

A cada graduação de carga, também se observou o aparecimento de ondulações nas faces externas dos tubos e o esmagamento de seus topos.

Os procedimentos do ensaio podem ser observados através das figuras:



Fig.21: Corpo-de-prova antes da aplicação de carga e após o início da flecha. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.



Fig.22: Medição da flecha e enrugamento da extremidade do corpo-de-prova. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.



Fig.23: Tubo totalmente flambado e sem estabilidade e tubo rompendo com o acréscimo de carga. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.

Resultados

Os resultados do ensaio podem ser conferidos na tabela abaixo:

CPs	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ϕ_i (mm)	173,7	172,3	172,8	162,5	162,5	162,5	157,4	156,4	157,4
ϕ_e (mm)	194	193	193	174	174	174	162	161	162
e (mm)	20,3	20,7	20,2	11,5	11,5	11,5	4,6	4,6	4,6
i (mm)	2503	2503	2495	2507	2500	2506	2508	2505	2447
SB (cm ²)	295,4	292,4	292,4	237,7	237,7	237,7	206	203,5	205
P* (kgf)	2000	1500	1500	1500	1500	1500	500	500	500
Médias	6555,3		1500			500			
L* (mm)	24	20	11	16	23	23	29	16	22
Pmáx (kgf)	2,4	2,1	2,2	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	0,5
Médias	2,2		1,5			0,5			
Lmáx									
Ffl (Mpa)	13	42	53	100	75	73	60	64	95
Médias	36		83			73			
Dfts (cm)	137	130	145	92	128	140	100	95	72

Sendo:

Φ_e - diâmetro externo;

Φ_i - diâmetro interno;

e - espessura da parede do tubo;

l - comprimento do tubo ensaiado;

SB - área bruta da seção;

P* - carga na qual percebeu-se o início da flambagem;

L* - deslocamento entre os pratos superior e inferior do equipamento em P*;

Pmáx - carga máxima resistida;

Lmáx - deslocamento entre os pratos superior e inferior do equipamento em Pmáx;

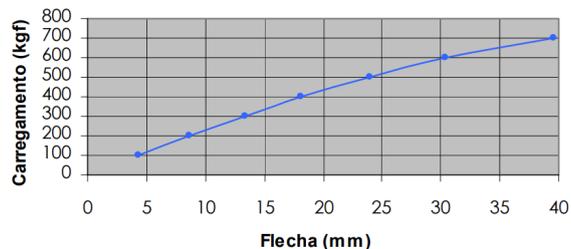
ffl - tensão máxima de flambagem resistida;

Fflmáx - flecha formada em Pmáx;

Dfts - distância entre o ponto central da flecha formada e o topo superior do tubo.

Tab.24: Resultados do ensaio de flambagem. Fonte: Gerusa Salado

A tabela a seguir mostra a relação entre carregamento e flecha observada durante o ensaio.



Tab.25: Relação carregamento-flecha observada durante o ensaio de resistência à flexão. Fonte: Gerusa Salado.

Observação visual/ tátil após o ensaio

Até o momento em que a aplicação de carga começou a gerar a flecha, os corpos-de-prova não rotacionaram. Contudo, após o início desta, com o acréscimo de carga, estes tenderam a rotacionar e apresentaram esmagamento e ondulações próximo às suas extremidades. Nenhum dos corpos-de-prova ensaiados apresentou aumento da espessura das suas paredes.

O único corpo-de-prova que recebeu aumento de carga mesmo após perder a estabilidade e rompeu, demonstrou que a ruptura do material se dá por destacamento entre as camadas de papel Kraft (figura 26).



Tab.26: Corpo-de-prova rompido durante o ensaio de flambagem. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Conclusão

Primeiramente, pode-se constatar a ocorrência de flambagem. Isso demonstra que a resistência e estabilidade do material estão associadas a todas as suas dimensões (diâmetro, espessura e comprimento). Dessa forma, tubos de diâmetros e espessuras iguais comportam-se de forma diferente, conforme o seu comprimento.

Assim sendo, tubos curtos quando comprimidos apresentam apenas esmagamento das suas bordas e ondulações, e tubos longos apresentam essas mesmas características em suas bordas e flambagem ao longo de seu comprimento.

Este ensaio demonstrou que bem antes de se atingir as cargas máximas resistidas no ensaio de resistência à compressão, os elementos flambam e, com o acréscimo de carga, perdem a sua resistência.

Assim, verificou-se a perda da estabilidade global. Os corpos-de-prova com espessura de 20 mm tiveram uma certa variação nos resultados, aceitável, e os com espessura de 11 mm e 04 mm apresentaram resultados iguais.

Quanto ao destacamento percebido entre as camadas de papel Kraft antes que este rompa, conclui-se que o papel Kraft é mais resistente que a cola utilizada.

Ensaio de Flambagem

Objectivo

O objectivo deste ensaio foi aplicar uma carga concentrada e perpendicular ao centro de um elemento disposto horizontalmente até este perder a sua resistência. Além disso, pretendeu-se aferir a flecha máxima gerada neste instante.

Corpos-de-prova

Foram ensaiados 09 corpos-de-prova, sendo três com 04 mm de espessura, três com 11 mm, e três com 20 mm. A tabela abaixo mostra os comprimentos utilizados.

Materiais e equipamentos

Foram usados os mesmos equipamentos utilizados no ensaio de resistência à compressão: um pórtico de reação, dotado de um macaco hidráulico acionado por uma bomba eletro-hidráulica, uma célula de carga com capacidade para 24 toneladas e um aparelho Transdutec.

Também foram usados paquímetros digital e analógico, trena e três deflectômetros.

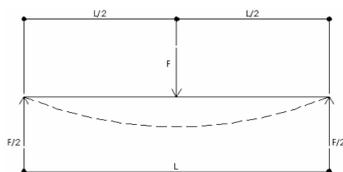
Procedimentos do ensaio

O método utilizado foi o Método dos Três Pontos (NBR14576:2000), esquematizado na figura abaixo.

e (mm)	Le (mm)	Lp (mm)
4	1900	2000
11	2100	2200
20	2300	2400

Tab.27: Dimensões dos corpos-de-prova testados no ensaio de resistência à flexão.

Sendo “e” a espessura das peças, “Le” o comprimento de ensaio e “Lp” o comprimento das peças.



Tab.28: Desenho esquemático do ensaio de resistência à flexão pelo Método dos Três Pontos (NBR14576:2000). Fonte: Desenho feito por Gerusa Salado.

Segundo a NBR 14576:2000, o chamado comprimento de ensaio (L ou L_e) é a distância entre os prismas-suporte, e deve ser equivalente a pelo menos 12 vezes o diâmetro externo do corpo-de-prova ensaiado.

Da mesma forma, segundo a NBR 14576:2000, o chamado comprimento do corpo-de-prova (L_p) é o comprimento real do elemento a ser ensaiado e deve ser equivalente ao comprimento de ensaio acrescido de 100 mm.

Cada peça foi disposta horizontalmente sobre dois prismas-suporte apoiados sobre duas bases de concreto. Cada prisma-suporte tinha 50 mm de largura.

Seguindo as recomendações da NBR14576:2000, a distância entre estes prismas foi o comprimento de ensaio; e estes foram dispostos simétricos e equidistantes com relação ao ponto central do mesmo.

No ponto central do comprimento de ensaio, diametralmente oposto aos prismas-suporte, foi posicionado o prisma de pressão, com 100 mm de largura. Neste mesmo ponto, também foi posicionada a prensa.



Tab.29: Prismas-suporte e de pressão confeccionados conforme a NBR14576:2000. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Assim que o corpo-de-prova foi devidamente colocado no equipamento de ensaio, três deflectômetros foram dispostos na peça; estando dois sobre o elemento a ser ensaiado (exatamente sobre os pontos de apoio) e um sob o tubo (exatamente sob o ponto a receber a carga), conforme as figuras 30 e 31. Esses aparelhos controlaram a deformação do corpo-de-prova.

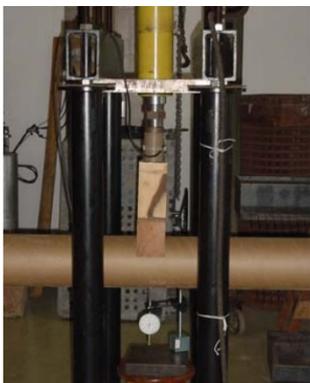


Fig.30: Deflectômetros posicionados no corpo-de-prova. Fonte: Fotos feitas por Gerusa Salado.



Fig.31: Corpo-de-prova preparado para o ensaio de resistência à flexão. Foto feita por Gerusa Salado.

Segundo a NBR14576:2000, a velocidade de carregamento deveria ser constante e equivalente a uma deformação de 50 mm/min a 65 mm/min; mas devido aos equipamentos utilizados, esta foi controlada manualmente por um técnico.

A carga foi aplicada no ponto central do comprimento de ensaio, sobre o prisma de pressão, até o elemento ensaiado perder a resistência. Neste momento, considerou-se a flecha máxima gerada.



Fig.32: Corpo-de-prova durante o ensaio de resistência à flexão. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

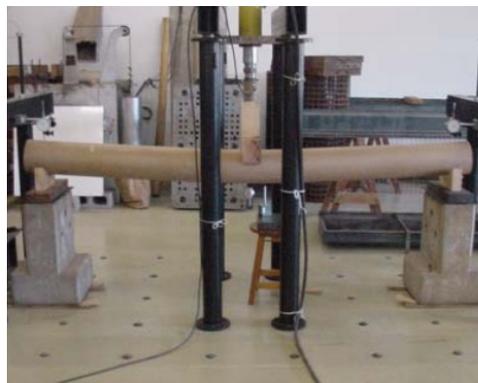


Fig.33: Corpo-de-prova fletido. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Resultados

Os resultados do ensaio podem ser conferidos na tabela abaixo:

CPs	ϕe (mm)	e (mm)	SB (cm ²)	Le (cm ²)	P _{máx} (Kgf)	F _{fmáx} (Mpa)	E (GPa)	Fl (mm)
1	193	20,1	292,4	2300	900	12	1,2	38,5
2	193	20,2	292,4	2300	700	9,4	1	43,2
3	193	20,2	292,4	2300	700	9,4	1,1	29,6
Média	193	20,2	292,4	2300	766,7	10,3	1,2	30,4
4	173	11,3	234,9	2100	350	8,4	1,5	24,7
5	173	11,3	234,9	2100	350	8,4	1,5	23,7
6	173	11,4	234,9	2100	350	8,4	1,1	31,5
Média	173	11,3	234,9	2100	350	8,4	1,4	26,7
7	161	4,7	203,5	1900	100	5,4	0,6	32,7
8	161	4,7	203,5	1900	100	5,4	0,6	32,1
9	161	4,7	203,5	1900	100	5,4	0,6	34,5
Média	161	4,7	203,5	1900	100	5,4	0,6	33,1

Fig.34: Resultados do ensaio de resistência à flexão.

Sendo:

Φe - diâmetro externo;

e - espessura da parede do tubo;

Le - comprimento do ensaio;

SB - área bruta da seção;

P_{máx} - carga máxima resistida à flexão;

f_{fmáx} - tensão de flexão máxima resistida;

E - módulo de elasticidade do material;

Fl_{máx} - flecha máxima gerada em P_{máx}.

Observação visual/ táctil após o ensio

Todos os corpos-de-prova apresentaram comportamento semelhante durante o ensaio.

A primeira observação foi que os corpos-de-prova cederam em seu segmento central, mas não tiveram suas extremidades erguidas, como era esperado. Isso ocorreu porque os tubos sofreram um pequeno amassamento em seus pontos de apoio, devido aos prismas-suporte.

A figura a seguir mostra a perda de contato entre o primeiro corpo-de-prova ensaiado e o deflectômetro, devido a isso.

Percebeu-se, também, que ao ultrapassar o limite de sua resistência, os corpos-de-prova amassaram no local de aplicação de carga, devido à curvatura gerada, apresentando rugas e ondulações(figura 36).



Fig.35: Perda de contato entre o corpo-de-prova e o seu deflectômetro. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.



Fig.36: Corpo-de-prova recebendo carga superior ao seu limite de resistência. Fonte: Foto feita por Gerusa Salado.

Conclusão

Os tubos de papelão apresentaram, neste ensaio, resistência a tensões bem superiores que no ensaio de flambagem. Com relação ao ensaio de resistência à compressão, neste ensaio, os tubos de 20 mm de espessura resistiram a uma tensão 20% maior, e os outros tubos resistiram à mesma tensão.

Com relação ao comportamento dos tubos durante a aplicação de carga, estes cederam em todo seu comprimento devido à pequena rigidez de seu material, o que possibilitou o amassamento em seus pontos de apoio.

No centro do vão, estes apresentaram rugas e ondulações na face superior, por conta das tensões de compressão, além de ser este o ponto de recebimento de carga e, ao mesmo tempo, o ponto central da flecha gerada; suscetível à máxima deformação.

Quanto à resistência dos tubos de papelão aos es-

forços de flexão, pode-se perceber que as colas utilizadas são os componentes que mais contribuem para isso.

Na dissertação Paper in architecture de Jerzy F. Latka são apresentados testes, obtidos no livro Shigeru Ban de Matilda McQuaid, realizados durante o processo de construção de alguns dos projetos de Shigeru Ban. Inclui informações sobre os seguintes edifícios, cujas estruturas eram feitas de tubos de papelão:

- Biblioteca de um Poeta (provas realizadas entre agosto de 1990 e agosto de 1991)
- Paper House (testes realizados entre 14 de outubro e 20 de novembro de 1991)
- Paper Dome (testes realizados em julho de 1997)
- Pavilhão do Japão na Expo 2000 em Hannover (testes realizados em Novembro de 1991).

Para medir a fluência do material, corpos de prova de tubos de papel com comprimento de 400 mm foram instalados entre duas placas de aço, que foram fixadas a 1000 kg (menos de um terço da resistência máxima à compressão). As alterações no comprimento dos tubos foram medidas durante um ano em intervalos de uma semana. As temperaturas e os níveis de umidade também foram medidos em intervalos de uma semana. Os resultados dos testes mostraram que o comprimento dos tubos de papel provavelmente sofrerá alterações nos períodos mais úmidos.

A maior alteração no comprimento dos tubos medida

nos testes foi de 1,5-1,8 mm (0,375% -0,45%) em uma umidade relativa de 80%. Os testes mostraram que o tempo não desempenhou nenhum papel na mudança do comprimento dos tubos. Isto indica que os tubos de papel são resistentes à fluência, se forem mantidos em equilíbrio higroscópico. Shigeru Ban confirmou isso, dizendo ao autor desta dissertação (Jerzy F. Latka) que as dimensões dos tubos de papel podem mudar no primeiro ano de uso, mas que se estabilizam depois de um tempo. (LATKA, Jerzy F., Paper in architecture: Research by design, engineering and prototyping, 2017, p. 98. Original inglês)

PROJECTO	DIMENSÃO DO TUBO DE PAPEL	TEOR DE UMIDADE (%)	FORÇA DE COMPRESSÃO (MPa)	MÓDULO AXIAL DE YOUNG (GPa)	RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)	MÓDULO DE DOBRAGEM DE YOUNG (GPa)
Biblioteca do Poeta	∅ exterior 100, ∅ interior 75 mm	–	10,12	1,82	–	–
Casa de Papel	∅ externo 280, ∅ Interno 250 mm, comprimento 600 mm	8,8	11,17	2,36	16,82	2,17
Dome de Papel	outer ∅ 291, inner ∅ 250 mm, length 600 mm	10,0	9,74	2,07	14,9	2,11
Pavilhão do Japão	∅ externo 120, ∅ interno 76 mm, comprimento 240 mm	8,7	9,53	1,57	14,5	1,46

Fig.37: Propriedades dos tubos de papelão usados nos projectos de Shigeru Ban.

Desempenho térmico e acústico do papelão

O ambiente de aplicação, o tamanho e o design dos tubos de papelão podem influenciar significativamente seu desempenho térmico e acústico.

Embora os tubos de papelão não sejam conhecidos por seu desempenho térmico e acústico, eles têm algumas propriedades que podem influenciar esses aspectos em determinadas aplicações.

O papelão possui uma capacidade natural de reter o calor devido à sua estrutura porosa e densidade relativamente baixa. Isso pode ter vantagens em certos contextos, como na criação de abrigos temporários, onde os tubos de papelão podem fornecer algum isolamento térmico básico contra variações de tem-

peratura. Dependendo do revestimento ou tratamento aplicado à superfície dos tubos de papelão, eles podem ter propriedades de reflexão térmica que ajudam a manter o calor fora durante o verão ou dentro durante o inverno.

Os tubos de papelão podem ter alguma capacidade de absorção sonora devido à sua estrutura porosa. Isso significa que eles podem ajudar a reduzir a reverberação e os níveis de ruído em um espaço. A forma e a textura dos tubos de papelão podem contribuir para a dispersão do som, ajudando a evitar ecos indesejados e melhorar a qualidade sonora em um ambiente.

Tratamento do papelão

O papelão é um material vulnerável à água e humidade. A água quebra as conexões entre as moléculas das fibras, o que resulta na perda das propriedades físicas cruciais para sua função como resistência e rigidez. Outros perigos que podem causar danos ao papel são o fogo, o crescimento de fungos e a presença de insectos.

Por isso, é importante que o papelão passe por tratamentos eficientes protecção contra a humidade, chamas e térmitas.

Além do tratamento, a posição dos elementos de papelão no edifício exerce um papel importante. É recomendável posicionar os elementos estruturais feitos de papelão no interior do edifício, para terem menor contacto com o exterior e assim ficar protegi-

dos das condições climáticas por elementos envolventes do edifício.

O tratamento do papelão, dependendo do produto usado, diminui a capacidade de ser reciclado. Porém, tubos de papelão podem ser reciclados após a remoção da camada de superfície que foi revestida.

Os tubos de papelão podem ser tratados depois de finalizados como também durante o processo de produção. As faixas que envolvem as superfícies internas e externas dos tubos podem ser revestidas com os produtos desejados antes do processo de enrolar nos cilindros de modulação.

No seu livro “Papel em arquitetura: Pesquisa por design, engenharia e prototipagem”, Jerzy F. Latka enumera quatro formas de tratar peças de papelão (não somente tubos de papelão):

- **Revestimento:** um revestimento é aplicado ao produto após sua produção. Este revestimento pode ser aplicado por imersão, pulverização ou pintura dos elementos. O revestimento pode ser natural, de base biológica ou artificial. Os repelentes comumente usados incluem biopolímeros, melamina-formaldeído, polietileno, fibra de vidro, verniz acrílico, parafina, cera, óleo de linhaça fervido, verniz copal, tintas de poliuretano, tintas à base de plásticos e plásticos pulverizados.
- **Laminação:** na laminação, duas ou mais camadas de material são combinadas para criar um único material. Resulta numa composição sanduíche. A laminação permite combinar papel com outros materiais, como folhas de alumínio, folha de PVC, folha

de polietileno e espuma de poliuretano.

- **Impregnação da massa do material:** quando aditivos são incorporados à polpa durante a produção, isso influencia a resistência do material.
- **Cobertura:** cobrir o papel com outro tipo de material, como mangas retráteis, lona ou papel resistente ao fogo e à prova d’água.

Entretanto, o arquitecto Shigeru Ban geralmente utiliza poliuretano líquido em seus projectos, no qual os tubos de papel são mergulhados. O poliuretano líquido é conhecido pela sua flexibilidade e resistência à água, aos raios ultravioleta e às intempéries. É frequentemente usada em áreas de maior exposição à humidade, como pintura de móveis de jardim, varandas e outras superfícies expostas ao clima.

“Uma folha fina de papel pode queimar facilmente. A temperatura de ignição do papel é 230°C. Contudo, testes realizados em papelão mais grosso mostram que a inflamabilidade de um papel tubo é semelhante à inflamabilidade da madeira. A taxa de queima do papel depende da densidade do material. Para papelão denso pode-se assumir que a taxa de queima é semelhante ao da madeira (0,7 mm/min).” (Pohl, A., 2009. Apud LATKA, Jerzy F., Paper in architecture: Research by design, engineering and prototyping, 2017, p. 87. Original inglês)

Segundo Jerzy F. Latka, no seu livro “Papel em arquitetura: Pesquisa por design, engenharia e prototipagem”, foram feitos testes de inflamabilidade do papelão por ocasião do projecto Local Zone (Zona Local) no Millennium Dome (Milénio Cúpula) em Londres. Nesses testes foi concluído que o papel mais grosso é mais difícil de acender. “Ao cobrir os tubos com o revestimento intumescente foi possível obter uma propagação de chama de classe 0 sobre a superfície (inflamabilidade). Os testes foram realizados pelos Warrington Fire Laboratories, que concederam

o devido certificado. Os resultados dos testes foram suficientes para ajudar o projecto Local Zone a satisfazer os códigos de construção aplicáveis. Os testes foram realizados em tubos não revestidos e revestidos.

As bordas dos tubos foram submetidas ao fogo a uma temperatura de 1.000°C, o que resultou em uma camada protectora carbonizada, assim como acontece com a madeira. Depois de ser exposto às chamas durante sessenta minutos, o tubo de 150 mm ficou carbonizado. A aplicação de tinta intumescente nas extremidades do tubo não alterou o comportamento do material.” (Sekulić, B., 2013. Apud LATKA, Jerzy F., Paper in architecture: Research by design, engineering and prototyping, 2017, p. 87. Original inglês)

Além dos tubos, os furos no tubo por onde passam os parafusos, os parafusos e as juntas de madeira, devem ser revestidos para garantir melhor protecção e durabilidade.

Aplicação dos tubos de papelão na construção

Tubos de papelão como sistema viga - pilar

Em edifícios convencionais, o sistema estrutural básico é composto por lajes, vigas e pilares, sendo os pilares responsáveis por receber os carregamentos e transmiti-los até a estrutura de fundação. Os materiais mais usuais nesse tipo de construção são o concreto armado e o aço (FERREIRA et al., 2006. Apud SALADO, Gerusa. Construções Com Tubos De Papelão: Um Estudo Dos Sistemas Construtivos Durante 2007-2017).

O sistema viga-pilar pode ser subdividido em dois grupos, sendo o primeiro composto por tubos de papelão conectados por elementos de ligação e no segundo grupo têm-se os elementos transpassados, de forma que a conexão dos tubos é feita apenas por perfuração e transpasse, sendo que para a execução utiliza-se um tubo com maior diâmetro perfurado e transpassado por outro tubo de diâmetro menor. No sistema de transpasse,

os tubos horizontais que atravessam os pilares ajudam na estabilidade estrutural, funcionando como vigas de travamento, impedindo os tubos que compõem os pilares de se deslocarem (DIAS, 2017. Apud SALADO, Gerusa. Construções Com Tubos De Papelão: Um Estudo Dos Sistemas Construtivos Durante 2007-2017).

A seguir são apresentados exemplos dos sistemas de viga-pilar. A figura 38 mostra o sistema com material convencional, vigas e pilares de concreto armado. Na figura 39 vê-se o sistema em que os tubos de papelão são conectados por elementos de ligação e na figura 40 o sistema que a conexão dos tubos é feita apenas por perfuração e transpasse.



Fig.38: Pilares e vigas em concreto armado. Fonte: S3DA design.



Fig.39: Vista Interior da Escola Temporária de Chendu, China, 2008. Fonte: Archdaily.



Fig.40: Vista interior do Pavilhão Kyoto-graphy, 2015. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Tubos de papelão como fechamento perimetral

Os tubos de papelão como fechamento perimetral podem desempenhar duas funções: a função apenas de vedar e a função estrutural.

Na Cabana Yakushima (figura 41 e 42), os tubos formam painéis que possuem apenas a função de proteger o interior do edifício. A estrutura é composta por vigas e pilares de madeira sustentados por perfis metálicos e os tubos ficam apoiados na estrutura a fazer o fechamento com pequenos espaços entre eles que permite a entrada de luz e ar.



Fig.41: Vista exterior da Cabana Yakushima, Japão, 2013. Fonte: Arquitectura viva.



Fig.42: Vista interior da Cabana Yakushima, Japão, 2013. Fonte: Arquitectura viva.

Quando o fechamento perimetral tem a função estrutural, além de fazer a vedação, ele deve suportar e transmitir todos os esforços atuantes, como o seu peso, o peso da cobertura e cargas de vento até para a fundação da construção (imagem 43 e 44).

Tal como nos pilares de tubos de papelão, para que os tubos formem painéis estruturais deve-se usar elementos de madeira ou concreto na base e/ou no topo, possibilitando o encaixe e fixação dos tubos. Na base esses elementos fazem a ligação do tubo com a fundação e no topo é onde a estrutura da cobertura fica apoiada.



Fig.43: Vista exterior do Pavilhão Temporário do Centro Garagem de Cultura Contemporânea. Fonte: Archello.



Fig.44: Vista interior do Pavilhão Temporário do Centro Garagem de Cultura Contemporânea. Fonte: Shigeru Ban architects.

Tubos de papelão como painéis divisórios

O uso de tubos de papelão como painel divisório é uma opção criativa e acessível para separar áreas dentro de um espaço. Por serem leves facilita o manuseio, transporte, movimentação ou reconfiguração da divisória quando necessário.

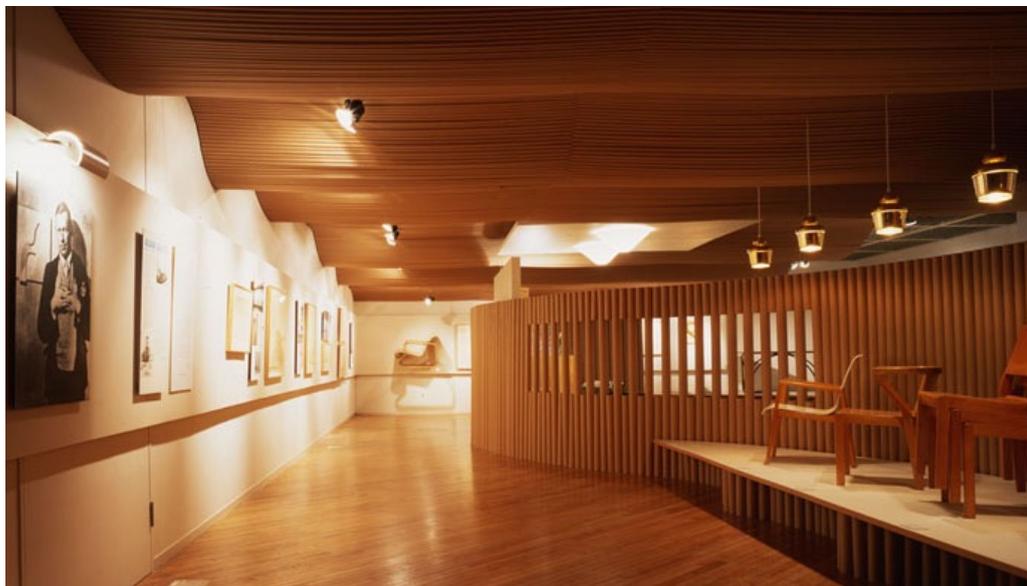


Fig.45: Alvar Aalto exhibition, Tóquio, 1986 – Shigeru Ban. Fonte: Researchgate.

No projecto de exposição de móveis de Alvar Aalto, o arquitecto Shigeru Ban usou tubos de papelão para imitar, sem muito custo, os telhados sinuosos de madeira de Aalto.



Fig.46: Catedral de papelão, Nova Zelândia, 2013 – Shigeru Ban. Fonte: Shigeru Ban architects.

Tubos de papelão como cofragem para pilares de concreto

A cofragem é usada para moldar materiais como o betão armado de acordo com a forma desejada em uma estrutura ou edificação. O material mais usado para a cofragem é a madeira pela sua disponibilidade, facilidade de corte e capacidade de ser reutilizada. No entanto, os tubos de papelão também são

usados como cofragem e têm as vantagens de ser relativamente mais leves do que a madeira, o que facilita no transporte e a manipulação no canteiro de obras e é fácil de cortar e montar nas dimensões desejadas.



Fig.47: Cofragem de pilares de concreto com madeira. Fonte: Alsina.



Fig.48: Cofragem de pilares de concreto com tubos de papelão. Fonte: Pentapak.

Tubos de papelão em abrigos emergenciais.

Shigeru Ban é conhecido por sua abordagem inovadora e humanitária na arquitetura, especialmente em situações de desastres naturais e crises humanitárias. Ele se destacou no uso de materiais simples e acessíveis para criar soluções de abrigo temporário eficazes e sustentáveis.

As soluções do arquitecto são adaptadas para cada caso de acordo com o contexto local e os materiais disponíveis. Os tubos são empilhados e conectados de maneira a criar espaços habitáveis que podem acomodar várias pessoas. Eles são geralmente combinados com outros materiais, como lonas ou tecidos, para proporcionar protecção adicional contra as intempéries.

Além disso, ele frequentemente envolve as comunidades locais no processo de construção dos abrigos, capacitando os próprios afectados a participar da montagem e personalização de seus espaços temporários. Isso não apenas ajuda a acelerar o processo de construção, mas também promove um sentimento de dignidade, pertencimento e resiliência entre as pessoas afectadas.

A seguir são apresentadas algumas das obras de abrigos emergenciais com diferentes soluções.

- **Paper Log House – Kobe, 1995.**

Os critérios de projecto para o alojamento temporário das vítimas do terremoto de Kobe exigiam uma estrutura barata que pudesse ser construída por qualquer pessoa, com isolamento satisfatório e aparência aceitável, que fosse fácil de desmontar e reciclar posteriormente. A solução foi uma espécie de cabana de toras com base de caixotes de cerveja cheios de areia, paredes de tubos de papel e telhado e forro feitos de membranas de tenda. (Shigeru Ban Architects)



Fig.49: Exterior da Paper Log House, Kobe, 1995. Fonte: Shigeru Ban Architects.

- **Paper Log House – Índia, 2001.**

Para as pessoas que perderam suas casas devido ao terremoto de Gujarat em 2001, a Paper Log House foi redesenhada para atender às circunstâncias locais. Destroços de edifícios destruídos foram usados para a fundação, cobertos com um tradicional piso de barro. Para a cobertura, foi utilizado bambu dividido nas abóbadas das nervuras e



Fig.50: Exterior da Paper Log House, Índia, 2001. Fonte: Shigeru Ban Architects.

- **Cardboard Cathedral – Nova Zelândia, 2013.**

O terremoto de Christchurch de fevereiro de 2011 infligiu danos devastadores à Catedral de Christchurch, que era o símbolo da cidade. Esta catedral em tubos de papelão de surge para substituir a catedral original enquanto ela estivesse a ser reconstruída. No entanto, as pessoas gostaram tanto dela, que continua lá até aos dias de hoje, tendo-se tornado ela própria um dos símbolos da cidade. A estrutura da igreja caracteriza-se por barras de aço escondidas de

ntro de tubos de papelão com 6,10 metros de comprimento e é suportada por 8 contentores na sua base. Para proteger esta estrutura, toda a cobertura é revestida com folhas de policarbonato, sem impedir a entrada de luz natural no interior da igreja. (CAMPOS, Mariana. 2020)



Fig.51: Exterior da Cardboard Cathedral – Nova Zelândia, 2013. Fonte: Archdaily.

Materiais auxiliares

Não existe apenas uma forma de se construir com tubos de papelão. Os materiais que completam o projecto podem variar dependendo das necessidades específicas do projecto. Isso pode acontecer de acordo com das condições climáticas locais, a disponibilidade do material ou a criatividade ou preferência do arquitecto. A seguir são exemplificados os materiais que podem ser usados nas construções com tubos de papelão.

a) Para cobertura.

Aconselha-se que as coberturas de edifícios de tubos de papelão, principalmente quando a estrutura

é feita dos mesmos, sejam feitas de materiais relativamente leves. Assim reduz a carga estrutural total sobre a edificação, facilita o transporte dos componentes da cobertura até o local de montagem e simplifica o processo de instalação. As mais usadas são:

- Cobertura de lona tensionada de pvc.

É uma opção versátil e leve para coberturas, podem ser esticados sobre uma estrutura de suporte para criar uma superfície tensa e resistente.



Fig.52: Vista exterior Pavilhão Viajante da Camper, 2011. Fonte: Shigeru Ban architects.



Fig.53: Vista interior Pavilhão Viajante da Camper, 2011. Fonte: Shigeru Ban architects.



Fig.54: Vista exterior da Igreja de Papelão de Kobe Pavilhão Viajante da Camper, 1995. Fonte: Shigeru Ban architects.



Fig.55: Vista interior da Igreja de Papelão de Kobe Pavilhão Viajante da Camper, 1995. Fonte: Shigeru Ban architects.

- Cobertura com policarbonato.

A cobertura com painéis de policarbonato proporcionam iluminação natural para o interior do edifício.



Fig.56: Vista exterior da Catedral de Papelão, Nova Zelândia, 2013. Fonte: Archidaily.



Fig.57: Vista interior da Catedral de Papelão, Nova Zelândia, 2013. Fonte: Archidaily.

- Cobertura com chapas de aço ondulado.

É outra opção de material leve para a cobertura. É comum este sistema de cobertura ter um forro de gesso acartonado por questões de isolamento térmico e/ou estético, material este que também é leve.



Fig.58: Vista exterior da Casa de Papelão, Yamanashi (Japão), 1995. Fonte: Shigeru Ban Architects.

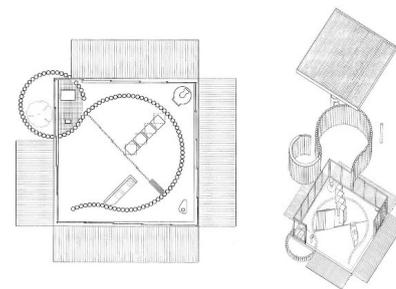


Fig.59: Esquema da planta e da composição da Casa de Papelão, Yamanashi (Japão), 1995. Fonte: Shigeru Ban Architects.

b) Para fundação.

Como as estruturas de papel são leves por natureza, o papel da fundação é duplo: manter a estrutura no seu lugar contra as cargas do vento e proteger a estrutura de papelão contra a humidade do solo ou da água da superfície. (LATKA, Jerzy F.)

- Grades plásticas de cerveja enchidas com sacos de areia.



Fig.60: Processo de construção das Casas Emergenciais da Turquia e Síria, 2023. Fonte: Shigeru Ban Architects.



Fig.61: Vista exterior das Casas Emergenciais da Turquia e Síria, 2023. Fonte: Shigeru Ban Architects.

- Sapata isolada de concreto.

As sapatas simples são elementos de fundação que consistem em blocos de concreto armado, projetados para distribuir a carga da estrutura de forma uniforme sobre o solo.



Fig.62: Vista exterior das Casas Emergenciais de Bhuj (Índia), 2001. Fonte: Shigeru Ban Architects.

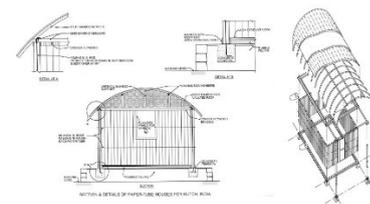


Fig.63: Vista exterior das Casas Emergenciais de Bhuj (Índia), 2001. Fonte: Shigeru Ban Architects.

- Estrutura de perfis metálico.

Outra abordagem é utilizar uma estrutura de metal como base para os tubos de papelão. Isso poderia envolver a construção de uma estrutura metálica leve, como uma grade, sobre a qual os tubos de papelão seriam colocados e fixados.



Fig.64: Construção da estrutura metálica de fundação do pavilhão temporário The IE Paper Pavilion, 2013. Fonte: IE Business School (2013). "Timelapse video: The IE Paper Pavilion (Shigeru Ban)" [Vídeo].



Fig.65: Estrutura metálica de fundação do pavilhão temporário The IE Paper Pavilion, 2013. Fonte: IE Business School (2013). "Timelapse video: The IE Paper Pavilion (Shigeru Ban)" [Vídeo].

- Bases de concreto.



Fig.66: Início da concretagem da base do edifício de Proposta de vedação vertical com tubos de papelão de Gerusa Salado, 2011. Fonte: Gerusa Salado.



Fig.67: Vista exterior do edifício de Proposta de vedação vertical com tubos de papelão de Gerusa Salado, 2011. Fonte: Gerusa Salado.

b) Para a conexão.

A conexão pode ser feita por peças de ligação e uso de contraventamentos pós-tensionados. As peças de conexão são fabricadas sob medida para unir os componentes do edifício e proporcionar resistência e estabilidade. Podem ser feitas de madeira ou metal.

- **Conexões de madeira.**

Para fazer estas peças são usadas técnicas tradicionais de marcenaria, isso inclui técnicas de encaixe, pregagem, parafusagem e cola, para criar conexões fortes e duráveis.

Não existe uma forma universal de fazer as juntas. No entanto, as quatro tipos de juntas de madeira mais usadas são: a junta A para vigas e estrutura da cobertura, a junta B para ligação entre pilares, vigas e estrutura da cobertura, a junta C para a base do pilar, e D e E para ligação intermediária das vigas de tubos de papelão e estrutura metálica da cobertura. As peças podem ser melhor vistas no projecto Escola Infantil Yaan (figuras 68 e 69).



Fig.68: Vista interior da Escola Primária Hualin (2008). Fonte: Shigeru Ban Architects



Fig.69: Estrutura da Escola Primária Hualin em construção (2008). Fonte: Shigeru Ban Architects

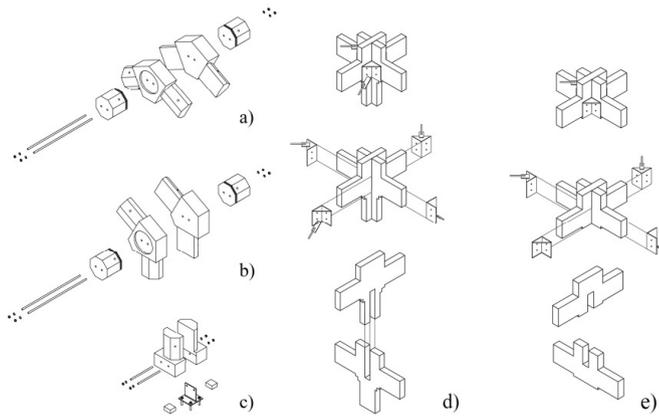


Fig.70: Peças de madeira. Fonte: Shigeru Ban Architects

As juntas A e B são compostas por quatro partes fixadas com cola e ainda haste com diâmetro de 12 mm. São projetadas como blocos de madeira com braços em forma de octógonos sobre os quais os tubos de papel são deslizados e fixados com parafusos de 12 mm com porcas.

A junta inferior C é composta por base retangular com pino octogonal e placa de aço em forma de T na parte inferior, que conecta a junta à fundação por meio de chumbadores. Os parafusos que fixam os tubos de papelão passam pelos tubos e pelos pinos octogonais e são apertados por fora com porcas.

As juntas intermediárias D e E diferem apenas por terem pinos para os pilares, a junta D fica no pilar, a junta E fica pendurada. São compostas por dois elementos planos inseridos um no outro e formam uma cruz com quatro braços.

As juntas são feitas de madeira laminada. As juntas são fixadas com placas de aço em forma de L que servem como local para fixação de contraventamentos de aço horizontais e verticais. (LATKA, Jerzy F. 2014)

- Conexões metálicas. As conexões metálicas podem ser feitas de aço, alumínio ou outros metais. Também não existe apenas uma forma de fazer estas peças. Estão a seguir exemplificadas.

É importante pré-perfurar os elementos de papelão que usam parafusos e porcas. Os furos pré-perfurados devem ser impregnados antes da construção começar.



Fig.71: Ring Pass Field Hockey Club, Nils Eekhout, 2010. Fonte: Octatube.



Fig.72: Ponte de Papel, Shigeru Ban, 2007. Fonte: Shigeru Ban Architects



Fig.73: Ponte de Papel, Shigeru Ban, 2007. Fonte: Shigeru Ban Architects

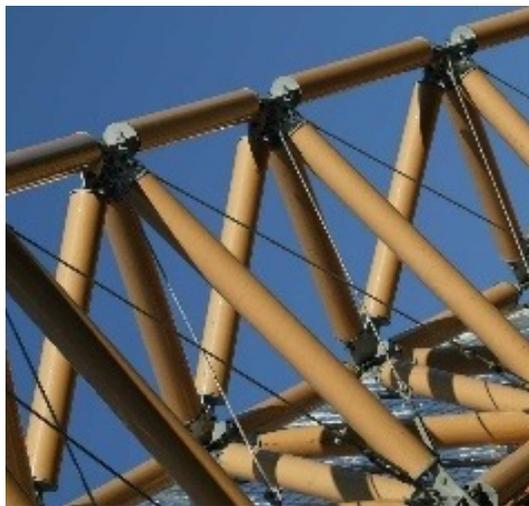


Fig.74: Ponte de Papel, Shigeru Ban, 2007. Fonte: Shigeru Ban Architects

Construção com tubos de papelão em África

Até o momento da pesquisa, foi identificado apenas um registro de projecto que envolve o uso de tubos de papelão em África, mais especificamente no Quênia.

Desde 2017, a ONU-Habitat, juntamente com Shigeru Ban Architects, Philippe Monteil e a ONG Voluntary Architects' Network, desenvolveu várias tipologias de abrigo para um bairro piloto no assentamento Kalobeyei, no Quênia. As Casas Turkana destinam-se a albergar refugiados do Sudão do Sul e outros refugiados que vivem no norte do Quênia e que não puderam regressar às suas aldeias de origem devido a guerras civis.

Foram desenvolvidas 3 tipologias de estruturas: Tipo A, The Paper Tube House, apresenta estrutura e revestimento de tubos de papel, entrelaçados como os galhos das cabanas Turkana, enquanto o Tipo B é uma estrutura de madeira preenchida com tijolos queimados. O

protótipo C é feito de blocos de terra compactados, uma técnica comum na África.

Ao contrário dos típicos abrigos para refugiados, estas estruturas foram concebidas para fornecer um lar para longos períodos de deslocamento e as três tipologias foram desenvolvidas pela vasta experiência dos Shigeru Ban Architects e pelas técnicas de construção locais da população local. (Archdaily)

The Paper Tube House usa tubo de papel como estrutura e invólucro. Como não requer competências especializadas, esta casa pode ser montada muito facilmente pelos habitantes. Além disso, como as mulheres que vivem em Kalobeyei são especialistas em técnicas de tecelagem, elas participaram da tecelagem da parede do tubo de papel. (Shigeru Ban Architects)



Fig.75: Montagem de colunas e vigas em tubo de papelão. Fonte: Shigeru Ban Architects



Fig.76: Exterior da The Paper Tube House, Quênia. Fonte: Archidaily.

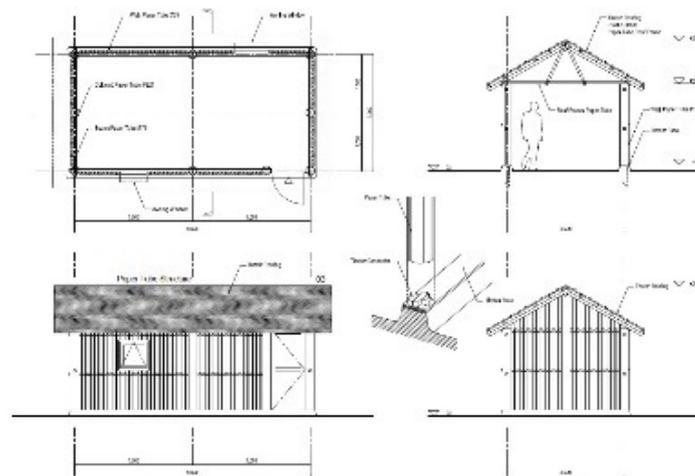


Fig.77: Detalhe da The Paper Tube House, Quênia. Fonte: Archidaily.

Disponibilidade do papelão em Maputo

O papelão em Maputo pode ser adquirido em vários lugares: estabelecimentos de venda de produtos embalados por papelão, papelarias, escritórios, como também em empresas de reciclagem.

Para este trabalho fez-se uma procura de centros de reciclagem locais, entre eles a REPLAC (recolha de plástico), África Scrap (recolha de sucata), RecoletaMM (fechada actualmente), AMOR (vidro, metal, plástico, papel) e RLR (vidro, metal, plástico, papel).

A empresa RecoletaMM, que actualmente se encontra encerrada, colectava cerca de 50 toneladas por mês, segundo o seu antigo dono. A colecta era feita em bairros, em depósitos de lixo e comprado em lixeiras, para a seguir ser vendido à empresa Metal Paper na África do Sul.

RLR – Recolha de Lixo Reciclável

A empresa AMOR, em parceria com a empresa RLR

– Recolha de Lixo Reciclável, tem um Ecoponto de recolha de resíduos. Os resíduos recolhidos são papel e papelão, plástico, metal e vidro. A recolha é feita apenas quando requisitada, por residências, escritórios, entre outros, é feita de segunda à sexta-feira, das 8h às 17h, por triciclos de 3m3 com capacidade para 80kg.

Quanto ao papelão recolhido, este não é vendido, é oferecido à empresa Sombra Matsinhe. Sombra Matsinhe é uma empresa de fornecimento de lonas, tenda, toldos, alpendres, napas, tapetes, alcatifas e de materiais de estofaria para viaturas, residências e escritórios. A empresa recolhe o papelão no ecoponto e usa para o fabrico de favos de ovos.

O ecoponto localiza-se próximo a Escola Posrtuguesa de Moçambique na Av. p/ o Palmar.



Fig.78: RLR ecoponto - contentor de armazenamento do material recolhido. Fonte: Autora.



Fig.79: RLR Ecoponto – interior do contenedor de armazenamento do material recolhido. Fonte: Autora.



Fig.80: Mapa de localização do Ecoponto. Fonte: Google Earth.

Abaixo é apresentada uma tabela síntese da quantidade de materiais recolhidos pela empresa RLR no ano 2022.

Latas		Papel SMW		Papelão		Plástico LDP		Plástico PET		Plástico HDP		Madeira		Lixo
Kg	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni	Kg
40	0	13804	0	2.050	0	564	0	40	0	2.352	0	430	0	30.970

Metal		Entulho		Organic		Óleos		Vidro		Borracha		Electrónico	
Kg	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni	Litro	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni	Kg	Uni
100	0	130	0	2.010	0	0	0	2.592	0	0	0	530	0

Fig.81: Tabela dos materiais recolhidos durante o ano 2022. Fonte: Tabela fornecida pela empresa RLR.

03

- 3.1 Pavilhão de Papelão
 - 3.1.1 Contextualização
- 3.1.2 Referências Projectuais
 - 3.1.3 Localização
 - 3.1.4 Premissas
 - 3.1.5 Plantas

O PROJECTO

- 3.1.6 Alçados
- 3.1.7 Cortes
- 3.1.8 Imagens
- 3.2 Processo Construtivo
- 3.3 Estimativa de Custos

Pavilhão de Papelão

Contextualização

Após um estudo profundo do sistema construtivo com tubos de papelão, o trabalho passa para a fase de projecto. Concluiu-se que o projecto ideal para o ensaio deste trabalho é um edifício de carácter temporário. Foi então desenvolvido um projecto de pavilhão temporário alternativo para os pavilhões temporários da Feira Internacional de Maputo (FACIM).

Um pavilhão temporário é uma estrutura construída para uma finalidade específica e por um período limitado de tempo. Geralmente, essas estruturas são montadas para eventos temporários, como feiras, exposições, festivais, eventos esportivos ou culturais. Eles são projectados para serem desmontados e removidos facilmente após o término do evento, oferecendo flexibilidade e mobilidade.

A FACIM (Feira Internacional de Maputo) é um evento comercial anual realizado em Maputo, capital de Moçambique. A feira é uma das maiores e mais importantes feiras comerciais da África Austral, e tem como objectivo promover o comércio e os investimentos em Moçambique, bem como motivar parcerias comerciais entre empresas nacionais e internacionais.

A feira abrange uma ampla gama de sectores económicos, incluindo agricultura, indústria, comércio, turismo, tecnologia, construção, energia, transporte, entre outros. Além da exposição de produtos e serviços, a FACIM também inclui seminários, conferências, rodadas de negócios, apresentações culturais e atividades de networking.

A escolha de fazer um pavilhão temporário para a FACIM deu-se devido ao grande alcance que este evento tem, atrai um grande número de visitantes e oferece uma excelente visibilidade e troca de conhecimentos. Além de pessoas em busca de conhecimento e novidade, também é visitado por empresários, investidores, representantes governamentais e mídia, sendo uma boa oportunidade de interagir com potenciais clientes, investidores ou parceiros.

Segundo a APIEX (Agência Para a Promoção de Investimento e Exportações) no ano de 2023 a feira teve 59 100 visitantes.

Localização



Factores Geográficos, Climáticos e Biofísicos

Clima: é caracterizado por um clima tropical. A temperatura média anual é de 22,9 °C. Sendo Fevereiro o mês mais quente (26,0 °C) e Julho o mais frio (19,1 oC). A precipitação média anual em Maputo é de 768 mm, sendo Agosto o mês com menor quantidade de precipitação.

Ventos: predominam os ventos de Sul durante todo o ano. A média anual da velocidade dos ventos é de 14,1 m/s sem grandes variações.

Cobertura arbórea: a área de intervenção é caracterizada por uma densidade vegetal razoável,

considerando a função que esta desempenha.

Declive: a área de intervenção se encontra numa zona de planície do distrito de Marracuene. Página 10/5 Perfil

Fonte: Perfil Ambiental E Mapeamento Do Uso Actual Da Terra Nos Distritos Da Zona Costeira De Moçambique. 2012.

O evento acontece entre finais de Agosto e início de Setembro que é a época de menor percentagem de humidade em relação ao resto do ano.

Legenda

— Limite do terreno da FACIM.

▶ Entradas.

- A - Espaço para pavilhões temporários.
- B - Espaço para gazebos.
- C - Pavilhões fixos.
- D - Sanitários.
- E - Espaço para sala de conferências.
- F - Espaço para exposição de pesca.
- G - Espaço para exposição de pecuária.
- H - Espaço para venda de alimentos.
- I - Espaço para montagem de palco.
- J - Estacionamento.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	25.8	25.9	25.4	23.5	21.7	20	19.3	20.7	22.2	23	24.2	25.5
temperatura mínima (°C)	23.2	23.4	22.7	20.6	18.2	16.3	15.6	16.8	18.4	19.6	21.1	22.6
Temperatura máxima (°C)	28.7	28.9	28.5	26.9	25.8	24.3	23.7	25.4	26.9	27.1	27.8	29
Chuva (mm)	141	120	100	63	35	22	23	20	40	58	93	125
Umidade(%)	77%	77%	77%	74%	71%	68%	68%	65%	65%	70%	73%	74%
Dias chuvosos (d)	12	11	11	8	5	4	4	3	4	6	8	9
Horas de sol (h)	8.2	8.3	8.1	8.0	8.3	8.2	8.1	8.2	7.9	7.4	7.6	8.2

Fig.83: Dados climatológicos de Marracuene. Fonte: Climate Data. ORG. 2021.



FACIM - Feira Internacional de Maputo

300 m



Referências Projectuais

Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid



Fig.84: Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid. Fonte: Shigeru Ban Architects.



Fig.85: Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid em processo de construção. Fonte: IE Business School

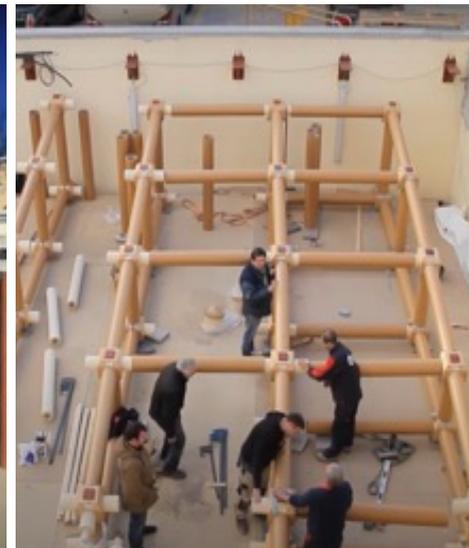


Fig.86: Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid em processo de construção. Fonte: IE Business School

Arquitecto: Shigeru Ban

Ano: 2013.

Local: Espanha, Campus do IE em Madrid.

Tipo: Temporário.

Função: Cultura e Lazer.



Fig.87: Vista interior do Pavilhão Polivalente de Papel de Madrid. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Parâmetros de Referência

Esta é a principal referência para a concepção do projecto desenvolvido.

A estrutura é composta por cerca de 173 tubos de papelão, 78 nós de madeira, 368 parafusos, 5 pilares de papelão de 330mm e 30 tensores metálicos.

Toda a estrutura é composta por treliças feitas de tubos de papelão de 230 mm de diâmetro e nós de ligação em madeira laminada que assentam em colunas de tubos de papelão de 330 mm de diâmetro com 2 metros de distância entre eles.

A união dos tubos com os nós de madeira é feita por juntas macho e fêmea e posteriormente fixadas com parafusos. Este sistema de montagem permite que a estrutura seja facilmente desmontada quando necessário.

A cobertura é feita de uma dupla camada de chapa recortada, com um lance lateral na fachada sul de 1 metro e rematada no seu perímetro por uma chapa galvanizada pintada de 5 mm.

Toda a estrutura é apoiada nos perímetros laterais e possibilita um interior totalmente aberto. No interior se encontra apenas um móvel onde estão acomodados os aparelhos de ar condicionado e os sistemas de iluminação.

- **Salão Principal do Festival de Odawara**



Fig.88: Salão Principal do Festival de Odawara. Fonte: Shigeru Ban Architects.



Fig.89: Vista interior do Salão Principal do Festival de Odawara. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Arquitecto: Shigeru Ban
Ano: 1990.
Local: Japão.
Tipo: Temporário.
Função: Cultura e Lazer.



Fig.90: Vista exterior do Salão Principal do Festival de Odawara. Fonte: Shigeru Ban Architects.

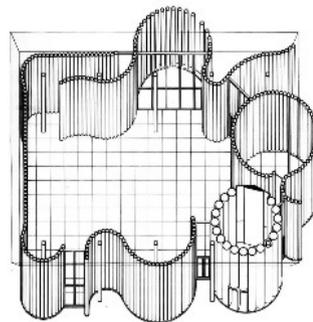


Fig.91: Esquema do Salão Principal do Festival de Odawara. Fonte: Shigeru Ban Architects.

Parâmetros de Referência

Esta referência representa a possibilidade de se aplicar os tubos de papelão em edifícios para criar diversas formas e efeitos. Com tubos de 8 metros de comprimento, a proposta é percebida como uma reinterpretação da antiga casa japonesa pela sua intimidade, sua leveza, sua luminosidade, pelo seu espaço flexível e seus materiais.

Premissas

Ao desenvolver o projecto, foram estabelecidas algumas premissas específicas que serviram como base para as decisões tomadas:

- **Capacidade de ser reutilizado e/ou reciclado.**

Um princípio fundamental é garantir que os tubos de papelão sejam reutilizados após o fim do tempo de vida do edifício

inicial ou reciclados ao final de sua vida útil. Além disso, o design do projecto deve facilitar a desmontagem e separação dos componentes de papelão para reciclagem, minimizando a quantidade de resíduos gerados.

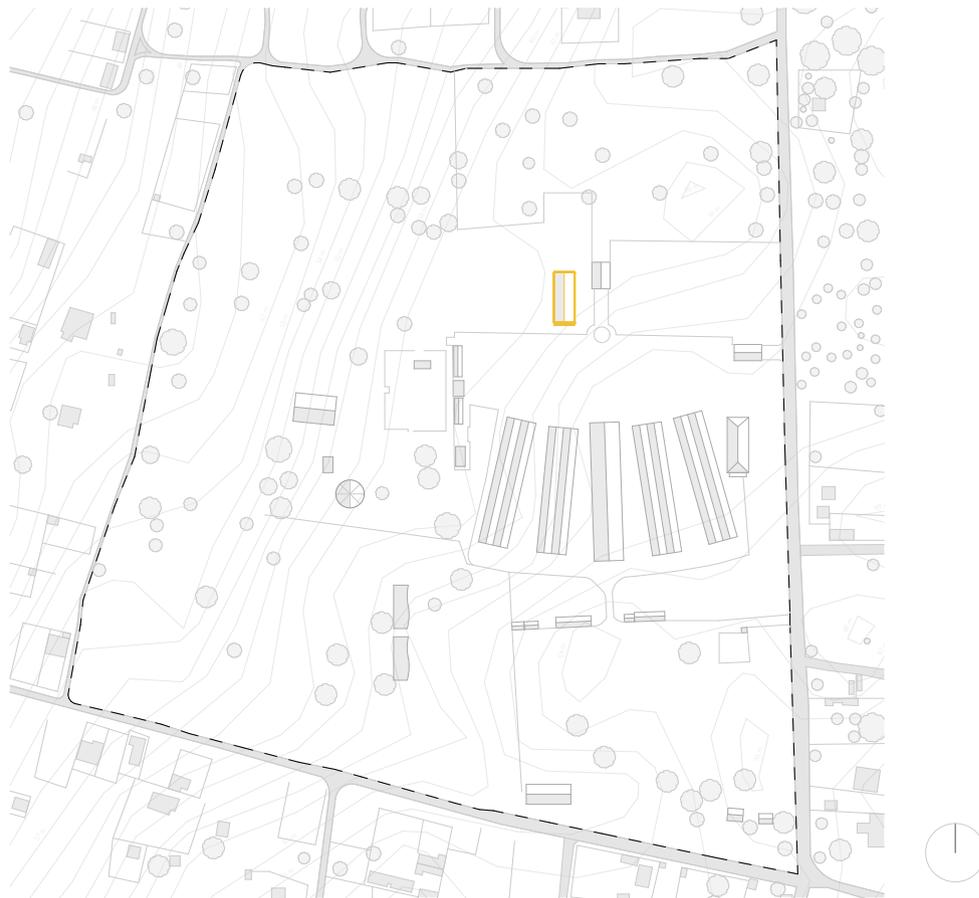
- **Facilidade no transporte.**

Considerando que os tubos de papelão são leves em comparação com materiais tradicionais de construção, os componentes do edifício devem ser de fácil transporte para o local de montagem.

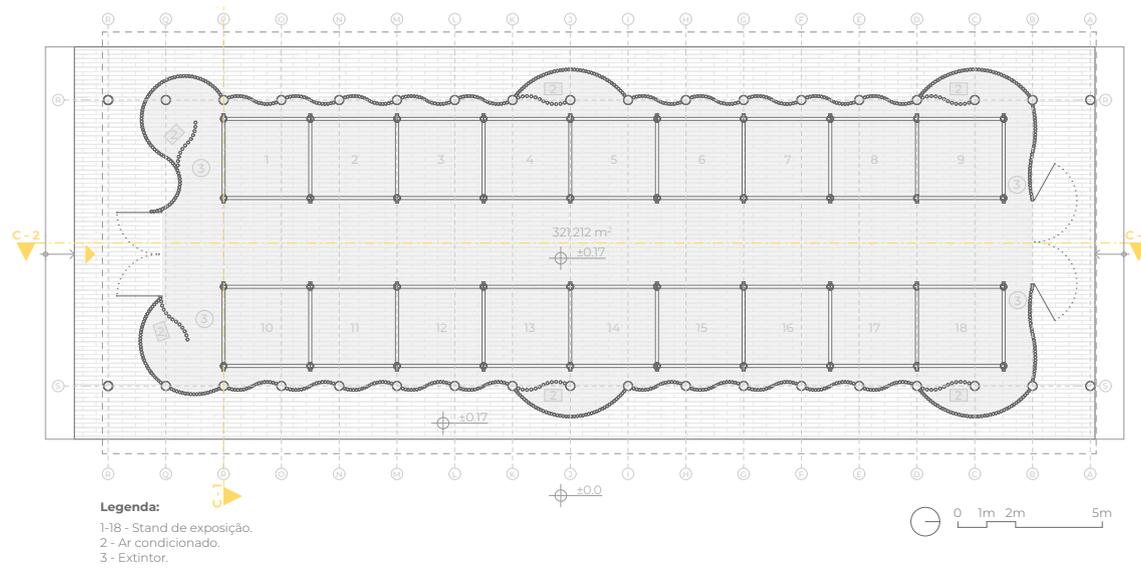
- **Facilidade na montagem.** Para garantir uma montagem rápida e eficiente, o design deve ser simplificado e os componentes devem ser projetados para se encaixarem de forma intuitiva. Da mesma forma, o design deve facilitar a desmontagem dos componentes no final da vida útil do edifício, permitindo sua reutilização ou reciclagem.

- **Materiais auxiliares fáceis de produzir.** Além dos tubos de papelão, quaisquer outros materiais auxiliares necessários para a montagem do edifício devem ser selecionados com base na facilidade de produção e disponibilidade, que devem ser projetados de forma simples para facilitar a produção em larga escala. Utilização de materiais auxiliares que também sejam reutilizáveis ou recicláveis para contribuir na sustentabilidade geral do projecto.

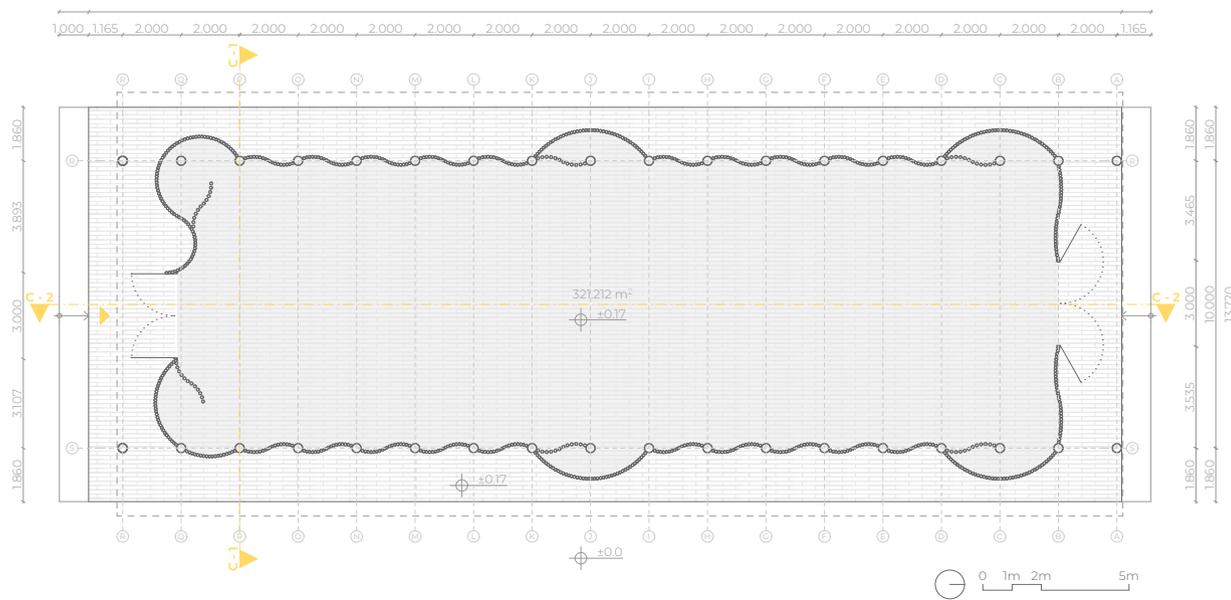
Planta de Implantação



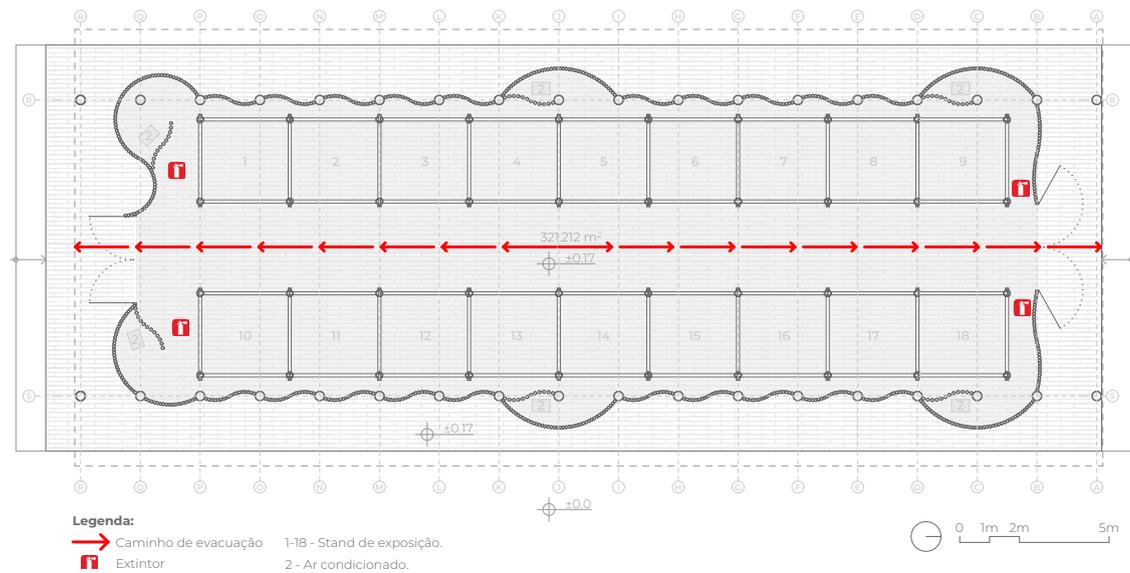
Planta de piso mobilada



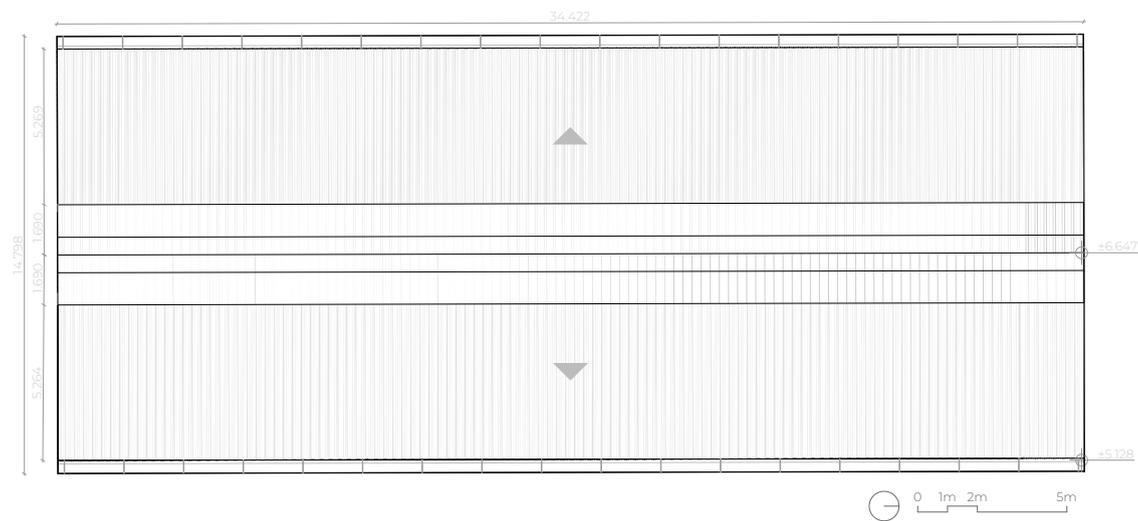
Planta de piso Cotada



Planta de segurança e áreas técnicas



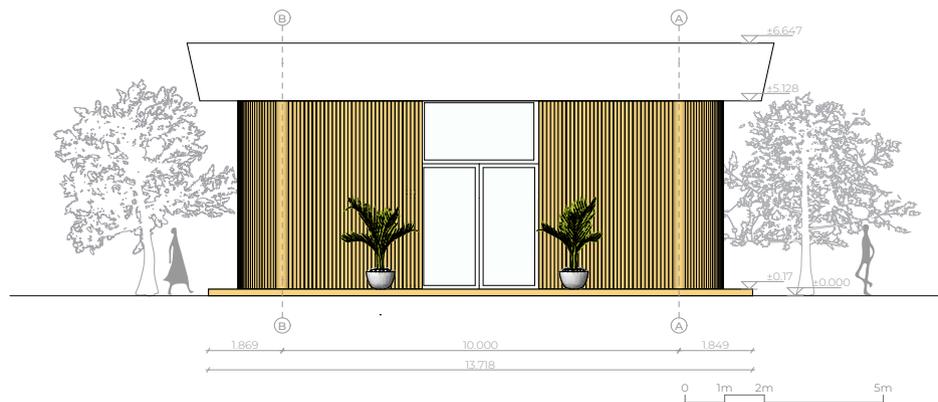
Planta de Cobertura



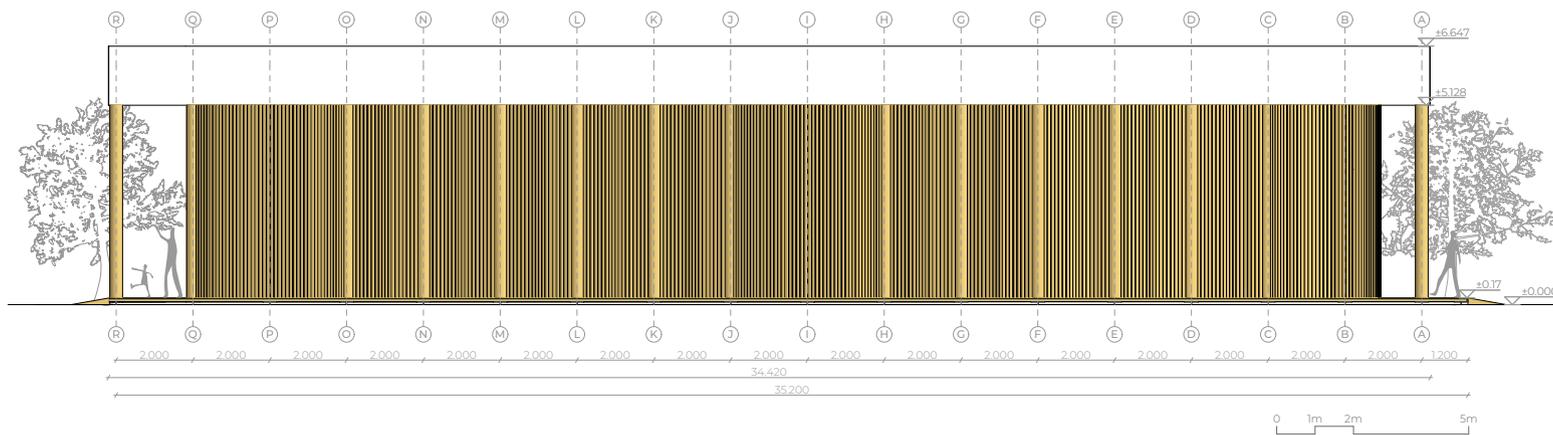
Alçado Frontal



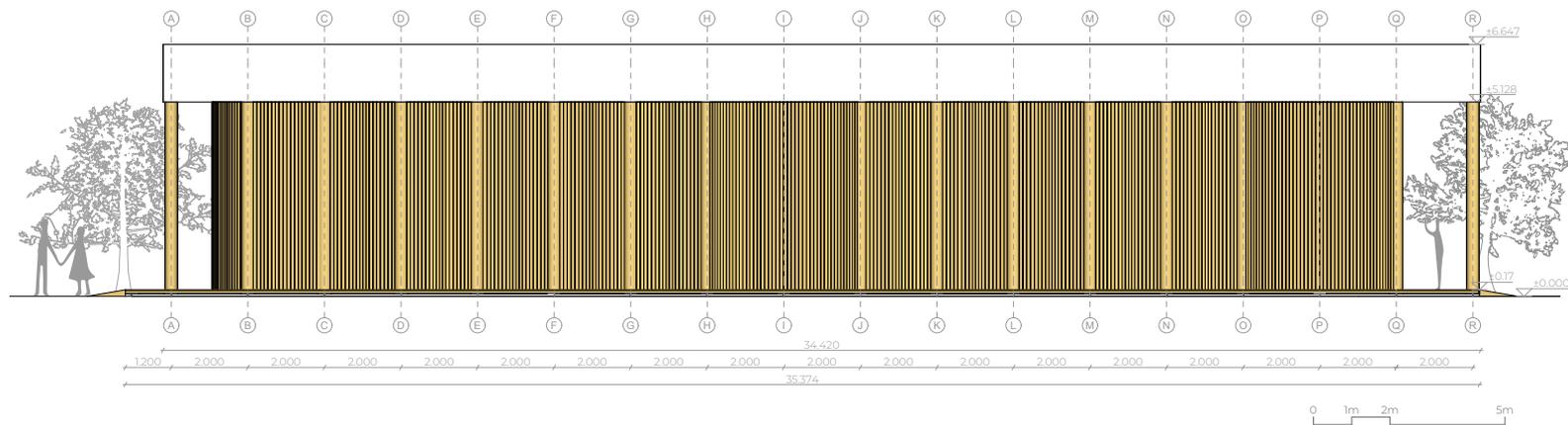
Alçado Posterior



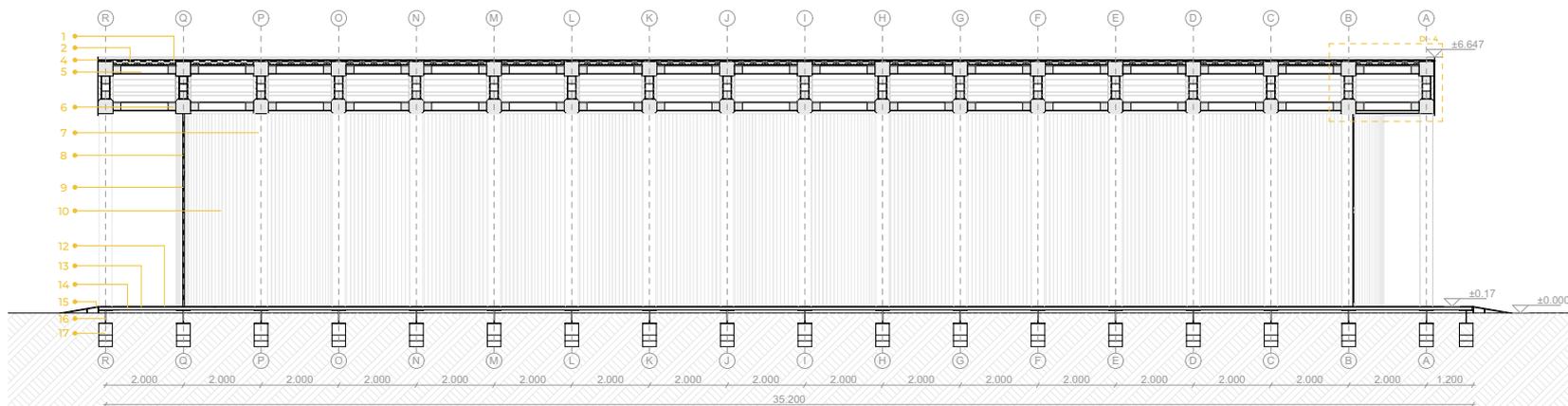
Alçado Lateral Esquerdo



Alçado Lateral Esquerdo



Corte Longitudinal

**MATERIAIS:**

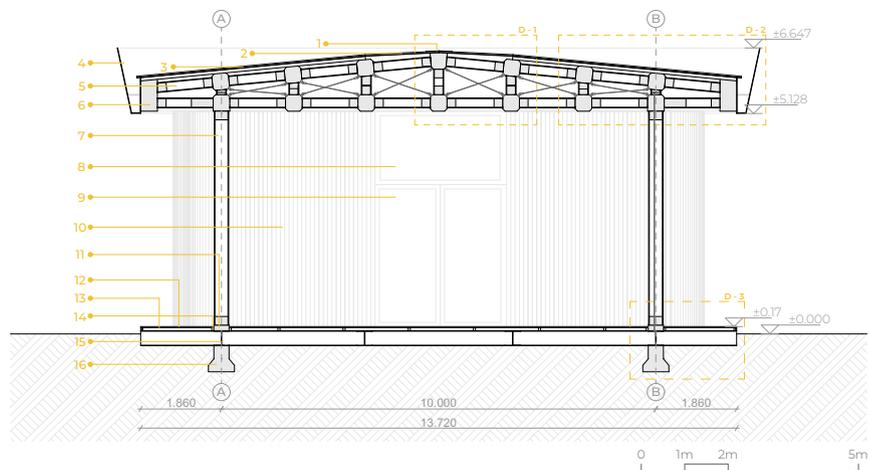
- 1 - Curmeieira.
- 2 - Chapas de polycarbonato corrugado transparente.
- 4 - Chapas metálicas 2 mm revestida com tinta anticorrosiva.
- 5 - Asnas da estrutura de cobertura em tubo de papelão 230 mm ø.
- 6 - Peças de madeira de fixação entre tubos.

- 7 - Pilar em tubo de papelão 330 mm ø.
- 8 - Janela fixa de alumínio e vidro.
- 9 - Porta de alumínio e vidro.
- 10 - Fechamento perimetral de tubo de papelão 100 mm ø.
- 12 - Piso vinílico 7 mm.

- 13 - Chapas OSB 18 mm.
- 14 - Barrote de madeira pinho.
- 15 - Rampa metálica revestida com tinta anticorrosiva.
- 16 - Perfil metálico 350x350 mm revestido com tinta anticorrosiva.
- 17 - Sapata isolada.

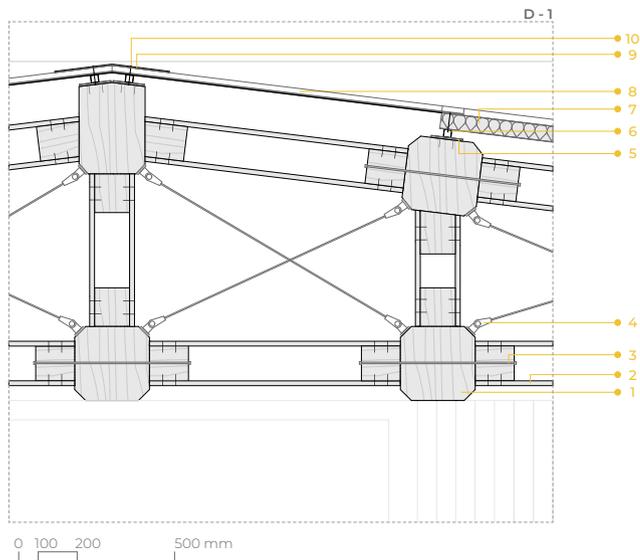


Corte transversal

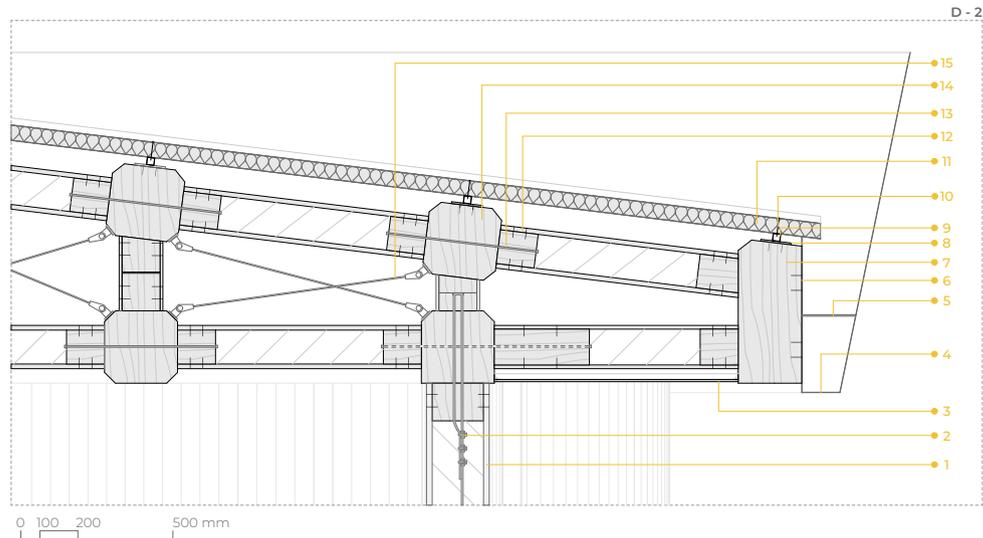
**MATERIAIS:**

- | | |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 - Cumeeira. | 9 - Porta de alumínio e vidro. |
| 2 - Chapas de policarbonato corrugado transparente. | 10 - Fechamento perimetral de tubo de papelão 100 mm ϕ . |
| 3 - Painel sanduíche $s=80$ mm. | 11 - Peça de madeira de fixação. |
| 4 - Chapas metálicas 2 mm revestida com tinta anticorrosiva. | 12 - Piso vinílico 7 mm. |
| 5 - Asnas da estrutura de cobertura em tubo de papelão 230 mm ϕ . | 13 - Chapas OSB 18 mm. |
| 6 - Peças de madeira de fixação entre tubos. | 14 - Barrote de madeira pinho. |
| 7 - Pilar em tubo de papelão 330 mm ϕ . | 15 - Perfil metálico 350x350 mm. |
| 8 - Janela fixa de alumínio e vidro. | 16 - Sapata isolada. |

Detalhes 01 | 02

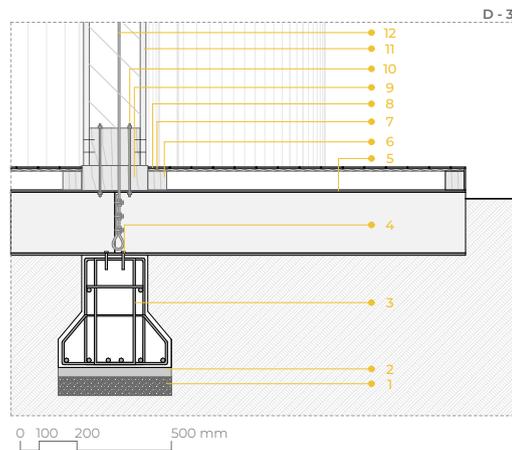
**LEGENDA:**

- 1 - Peça de madeira de fixação.
- 2 - Elemento da asna de tubo de papelão, \varnothing_e 230 mm, \varnothing_i 180 mm.
- 3 - Varão roscado 8 mm.
- 4 - Barra de aço de contraventamento.
- 5 - Chapa metálica 160x160 mm.
- 6 - Barra metálica 40x40 mm.
- 7 - Painél sanduíche s=80 mm.
- 8 - Chapa de policarbonato corrugado transparente.
- 9 - Cumeeira.
- 10 - Parafuso broca 98 mm.

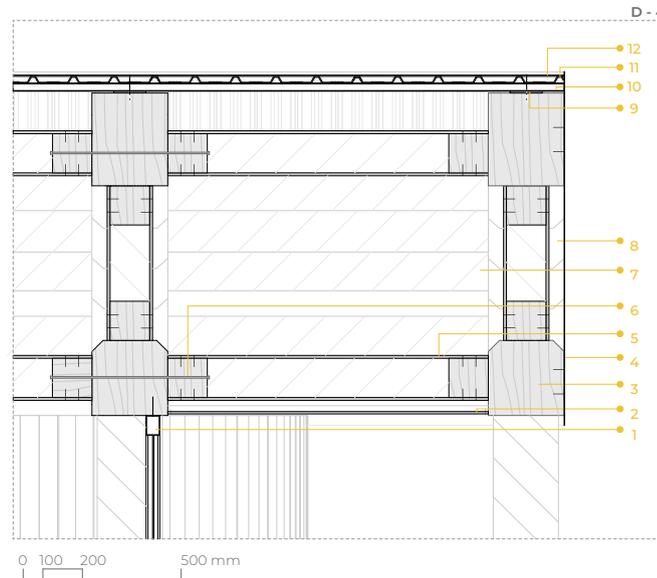
**LEGENDA:**

- 1 - Pilar de tubo de papelão, \varnothing_e 330 mm, \varnothing_i 270 mm.
- 2 - Cabo de aço de 10 mm.
- 3 - Placa de gesso cartonado 12 mm.
- 4 - Caleira de chapa metálica quinada 2mm.
- 5 - Barra metálica estabilizadora 8 mm soldada na chapa metálica quinada.
- 6 - Chapa metálica quinada 2mm.
- 7 - Peça de madeira de fixação.
- 8 - Chapa metálica 160x160 mm.
- 9 - Barra metálica 40x40 mm.
- 10 - Parafuso broca 98 mm.
- 11 - Painél sanduíche s=80 mm.
- 12 - Elemento da asna de tubo de papelão, \varnothing_e 230 mm, \varnothing_i 180 mm.
- 13 - Varão roscado 8 mm.
- 14 - Peça de madeira de fixação.
- 15 - Barra de aço de contraventamento

Detalhes 03 | 04

**LEGENDA:**

- 1 - Enrocamento 100 mm.
- 2 - Betão de limpeza 50 mm.
- 3 - Sapata isolada.
- 4 - Parafuso M 12 de fixação da viga metálica na sapata.
- 5 - Viga metálica em I 350x350 mm.
- 6 - Barrote de pinho 100x100 mm.
- 7 - Placa OSB 16 mm.
- 8 - Piso vinílico 7mm.
- 9 - Peça de madeira de fixação.
- 10 - Varão roscado 8 mm de ligação entre pilar de tubo de papelão com a fundação.
- 11 - Pilar de tubo de papelão, Øe 330 mm, Øi 270 mm.
- 12 - Cabo de aço de 10 mm.

**LEGENDA:**

- 1 - Janela fixa de alumínio e vidro temperado.
- 2 - Placa de gesso cartonado 12 mm.
- 3 - Peça de madeira de fixação.
- 4 - Chapa metálica 2mm.
- 5 - Elemento da asna de tubo de papelão, Øe 230 mm, Øi 180 mm.
- 6 - Varão roscado 8 mm.
- 7 - Elemento da asna de tubo de papelão, Øe 230 mm, Øi 180 mm.
- 8 - Peça de madeira de fixação.
- 9 - Chapa metálica 160x160 mm.
- 10 - Barra metálica 40x40 mm.
- 11 - Chapa de policarbonato corrugado transparente.
- 12 - Cumeeira.

Imagens Exteriores



Imagens Exteriores



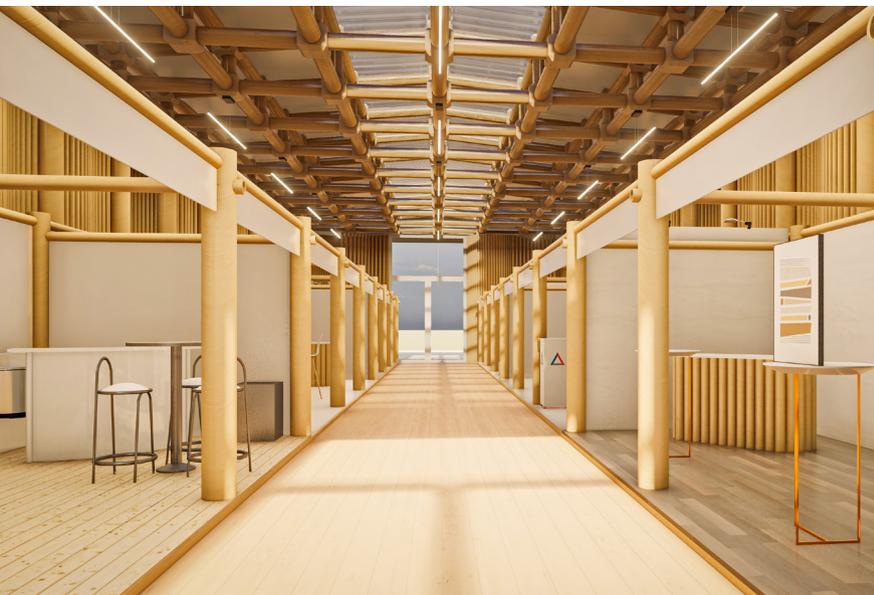
Imagens Exteriores



Imagens Interiores



Imagens Interiores



Imagens Interiores





Materiais de Construção

Área total do edifício: 483 m².

Dimensões dos tubos de papelão:

- Pilar: Øe 330 mm, Øi 270 mm, 5000 mm de comprimento.

- Fechamento perimetral: Øe 100 mm, Øi 90 mm, 5000 mm de comprimento.

- Elementos das asnas de cobertura: Øe 230 mm, Øi 180 mm, comprimento varia de 1200 à 1600 mm.

Materiais auxiliares: Perfis metálicos, vidro, alumínio, concreto, madeira, cabos de aço, varão roscado, vinílico, placa OSB, barrotes de pinho.

Fundação: Sapata isolada e vigas de perfil metálico em I 350x350mm.

Piso: Piso de placas OSB com acabamento de piso vinílico assente sob barrotes de pinho.

Fechamento perimetral: Painéis de tubos de papelão.

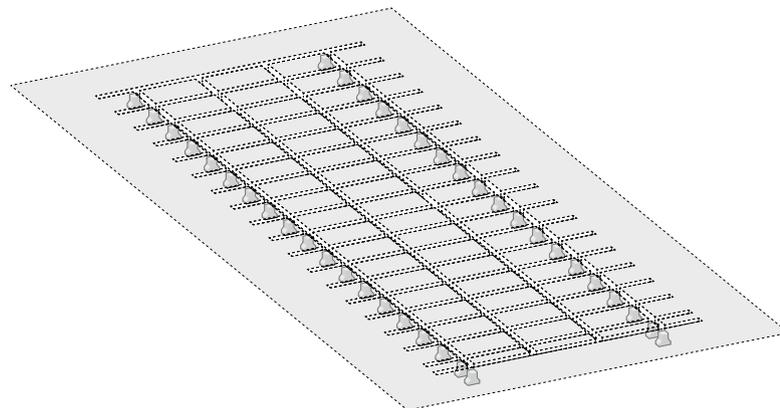
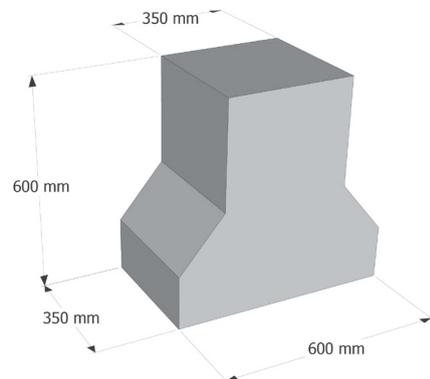
Cobertura: A cobertura é composta por asnas feitas de tubo de papelão, painel sanduíche de s=80mm e chapas de policarbonato corrugado transparente.

Tratamento dos tubos de papelão: Impermeabilização com poliuretano transparente.

Processo Construtivo

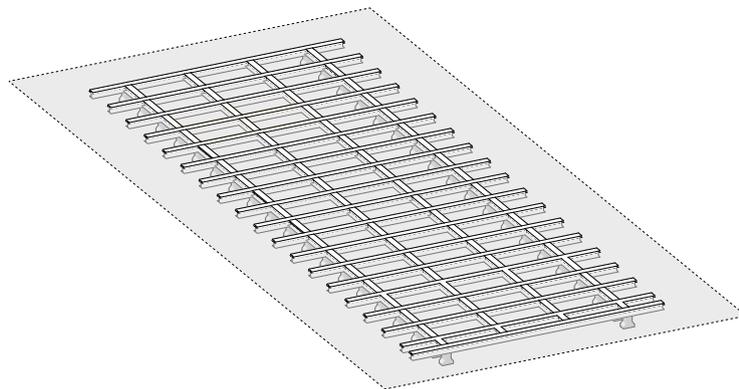
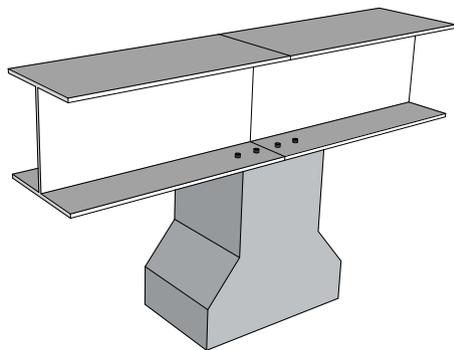
1. Abertura dos cabocos e implantação das sapatas.

O processo de construção inicia com a abertura de cabocos e implantação de 38 sapatas isoladas.



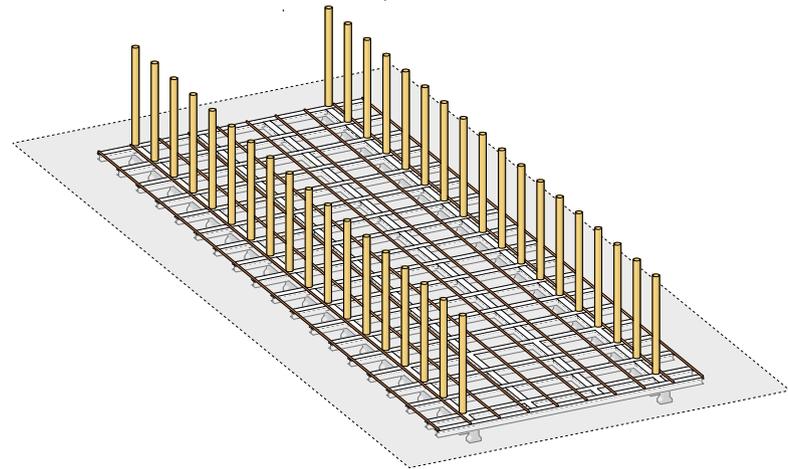
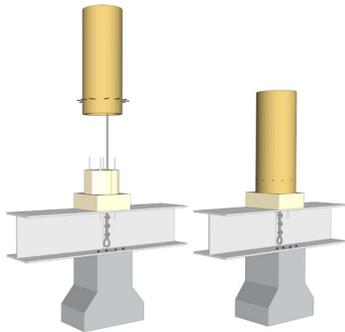
2. Montagem das vigas de perfil metálico.

Após as sapatas estarem completamente secas, procede-se à montagem de uma estrutura de vigas feitas de perfil metálico 350x350mm, as quais são fixadas sobre as sapatas.



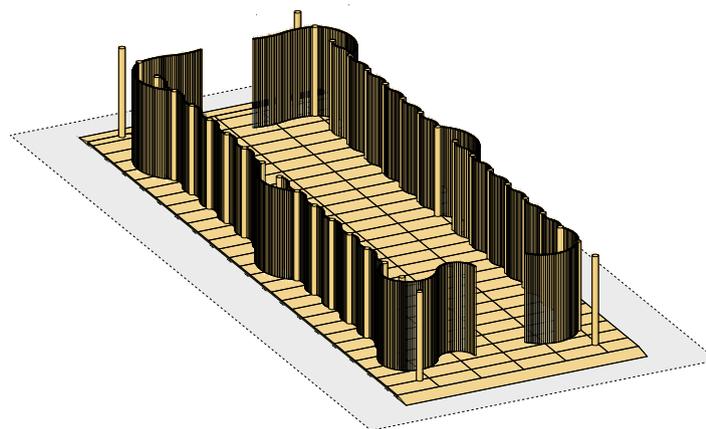
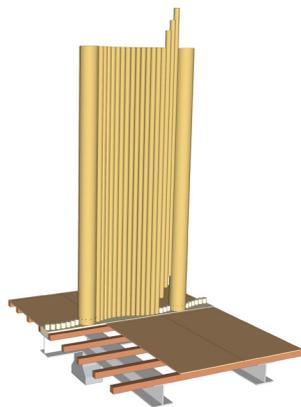
3. Posicionamento dos pilares.

O pilar é conectado ao perfil metálico através das peças de madeira de ligação e pelo seu interior passa um cabo aço de 10 mm para reforçar a estabilidade do edifício. Esse cabo conecta a peça de ligação na base do pilar à peça superior, que por sua vez se conecta aos componentes das asnas da cobertura. Em simultâneo são fixos nos perfis metálicos os barrotes de pinho 100x100mm de suporte do piso.



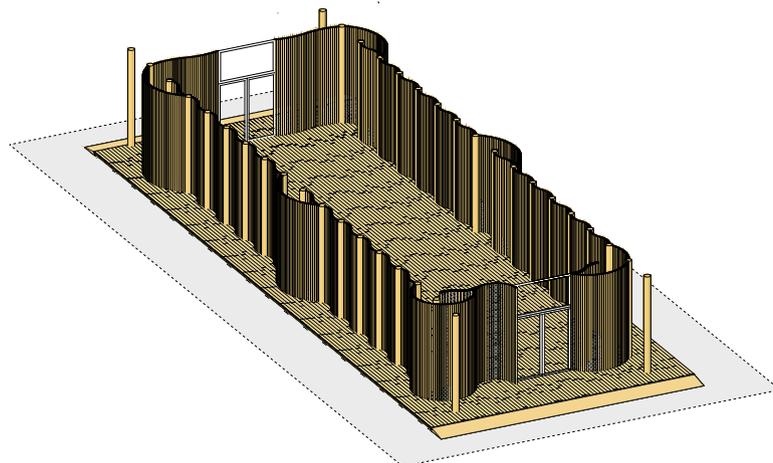
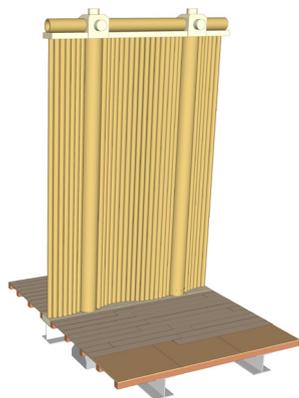
4. Montagem do fechamento perimetral e vigas de suporte do pavimento.

O fechamento perimetral é feito de tubos de papelão que formam um painél sem função estrutural. A base dos painés é conectada ao perfil metálico de fundação. Após feito o assentamento do fechamento perimetral faz-se a montagem das placas OSB 16mm sob os barrotes de pinho.



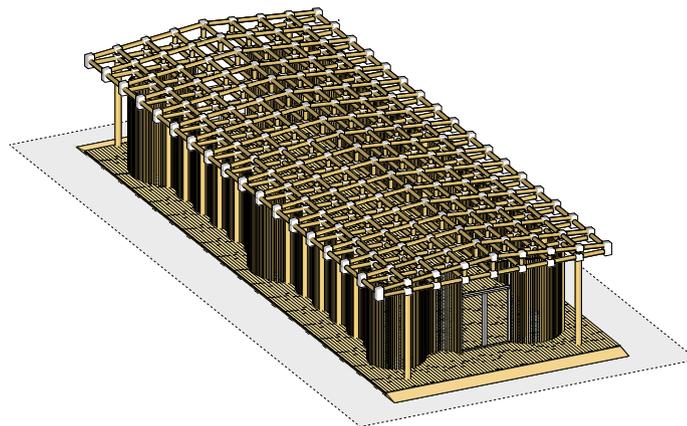
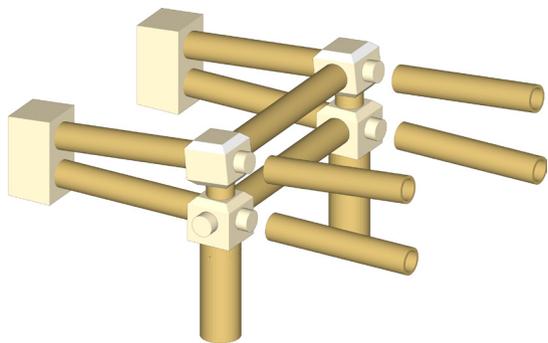
5. Montagem do Piso vinílico e portas com bandeira superior.

Faz-se o acabamento do piso com piso vinílico e são instaladas as portas de alumínio e vidro.



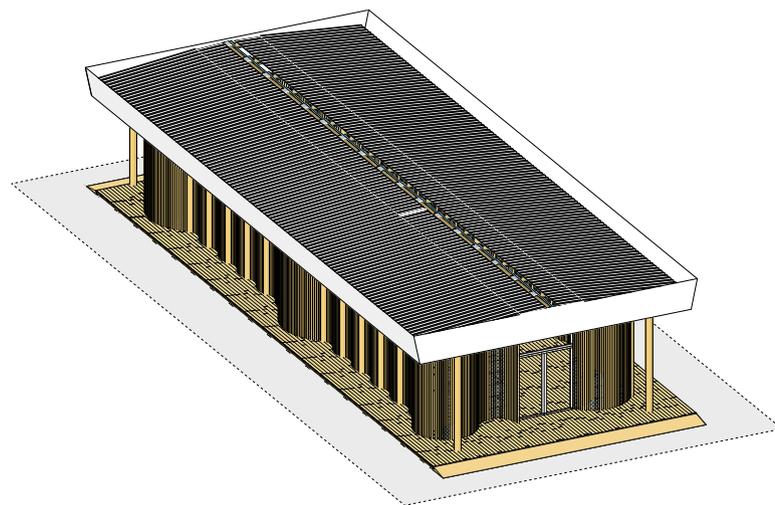
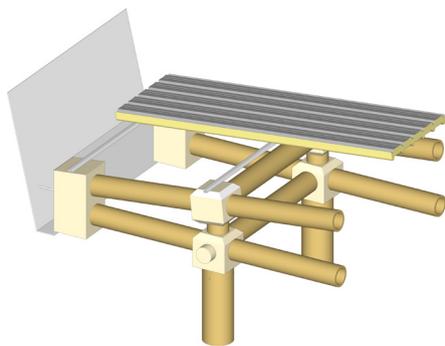
6. Montagem das asnas da estrutura da cobertura.

A estrutura da cobertura é composta por asnas que consistem em tubos de papelão conectados por peças de madeira.



7. Montagem de chapas de cobertura.

Os painéis sanduíche são fixados na estrutura de suporte, proporcionando isolamento térmico e acústico. Na parte central do edifício, são instaladas chapas de policarbonato transparente para possibilitar a entrada de luz natural. Além disso, uma calha metálica é instalada ao longo das bordas do telhado para direcionar a água da chuva para longe da construção, evitando infiltrações e danos.



Estimativa de Custos

Mapa de Quantidades					
Item	Designação	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (Mtn)	Preço Total (Mtn)
I	PRELIMINARES				
	Implantação da obra, conforme a localização do terreno, incluindo construção do cangalho e trabalhos complementares.	m³	300	126,77 MZN	38 031,00 MZN
	Tratamento de solos contra térmitas "TENURE MTC" ou similar nas fundações, caixas de pavimentos e em redor do edifício numa faixa de pelo menos 2 metros.	m³	300	79,15 MZN	23 745,00 MZN
	Sub-total 1				61 776,00 MZN
II	MOVIMENTO DE TERRAS				
	Escavação de terras na abertura de caboucos para sapatas de pilares.	m³	10	334,16 MZN	3 341,60 MZN
	Rega e compactação do leito dos caboucos	m³	76	30,16 MZN	2 292,16 MZN
	Aterro com solos provenientes das escavações.	m³	76	271,37 MZN	20 624,12 MZN
	Enrocamento de pedra mediana com 5 cm de espessura em caixa de pavimento e sapatas de pilares, bem regado e compactado.	m³	1	3 450,50 MZN	3 450,50 MZN
	Sub-total 2				29 708,38
III	FUNDAÇÃO				
	Execução de betão de limpeza B20 em fundações.	m³	2	6 921,60 MZN	13 843,20 MZN
	Execução de betão B25 (C20/25) em sapatas, excluindo aços e cofragens.	m³	5	6 921,60 MZN	34 608,00 MZN
	Fornecimento e montagem de armaduras de aço A400 NR, incluindo todos os trabalhos de dobragem, corte, amarração e colocação em obra, de acordo com as boas normas de execução: Ø 10 mm (Comprimento 5,8m)	un	40	275,00 MZN	11 000,00 MZN
	Fornecimento e montagem de perfis metálicos em I 350x350x12000 mm	Ton	31	25 603,00 MZN	793 693,00 MZN
	Sub-total 3				853 144,20 MZN
IV	PILARES				
	Fornecimento e montagem tubos de papelão Ø 270 mm externo, Ø 230 mm interno	un	38	1 000,00 MZN	38 000,00 MZN
	Varão rosçado M12	ml	320	103,10 MZN	32 992,00 MZN
	cabo de aço	un	38	1 300,00 MZN	49 400,00 MZN
	Sub-total 4				120 392,00 MZN
V	FECHAMENTO PERIMETRAL				
	Tubos de papelão Ø 100 mm externo, Ø 90 mm interno	un	743	400,00 MZN	297 200,00 MZN
	Fornecimento e aplicação de Peças de ligação de madeira pinho	ml	160	200,00 MZN	32 000,00 MZN
	Sub-total 5				329 200,00 MZN

VI PISO					
Fornecimento e aplicação de barrotes de madeira pinho tratados 50mm x 76mm x 6000mm	un	60	985,00 MZN	59 100,00 MZN	
Fornecimento e montagem de contraplacado de madeira OSB/ Marítimo (1220x2440x18mm)	un	120	3 363,00 MZN	403 560,00 MZN	
Fornecimento e montagem de piso vinílico	m²	350	1 017,68 MZN	356 188,00 MZN	
Sub-total 6				818 848,00 MZN	
VII CAIXILHARIA / SERRALHARIA					
Fornecimento e aplicação de portas com bandeira alumínio e vidro temperado 10mm (2930 x 4980 mm)	un	1	106 459,20 MZN	106 459,20 MZN	
Sub-total 7				106 459,20 MZN	
VIII COBERTURA					
Fornecimento e aplicação de tubos de papelão Ø 230 mm externo, Ø 180 mm interno	un	288	500,00 MZN	144 000,00 MZN	
Fornecimento e aplicação de peças de ligação de madeira pinho	un	324	5 354,59 MZN	1 734 887,16 MZN	
Fornecimento e aplicação de painél sanduíche 80mm de espessura	m²	364	3 850,00 MZN	1 401 400,00 MZN	
Fornecimento e aplicação de placas de gesso cartonado hidrófugo revestidas de com gesso de acabamento para exteriores	m²	173,26	1 500,00 MZN	259 890,00 MZN	
Fornecimento e aplicação de chapas de policarbonato corrugado transparente	m²	120	1 806,58 MZN	216 789,60 MZN	
Sub-total 8				3 756 966,76 MZN	
SUB-TOTAL CONSTRUÇÃO				6 076 494,54 MZN	
CONTIGENCIAS (10%)				607 649,45 MZN	
GRANDE TOTAL				6 684 143,99 MZN	

OBS: Os pavilhões temporários da FACIM são adquiridos através de concursos e custam por volta de 6-8 milhões de meticais.

Apesar de o pavilhão com tubos de papelão e o pavilhão

com tendas de PVC terem um custo similar, o com tubos de papelão tem as vantagens de oferecer uma maior segurança por ter portas mais seguras, oferece iluminação natural e uma experiência diferente e agradável aos visitantes.

04

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 4.1 Análise SWOT
- 4.2 Conclusão
- 4.3 Recomendações
- 4.4 Referências Bibliográficas

Análise SWOT

Forças

- É possível reciclar ou re-utilizar o material após a sua desmontagem.
- A geração de resíduos é reduzida o que faz com que tenha um baixo impacto ambiental.
- Apesar do papelão ser um material aparentemente frágil, quando em formato de tubo apresenta uma resistência e estabilidade maior devido a sua forma de fabricação (folhas de papel craft prensadas e coladas).
- Os tubos dispensam de acabamentos, salvo o tratamento necessário para ser usado na construção.
- É um material leve e não requer uma fundação complexa facilitando também o seu transporte e manuseio.
- O tubo não entra em colapso imediato quando é submetido a carga, tende a se deformar até perder estabilidade.
- Rapidez na construção.
- Flexibilidade de design: Efeitos plásticos diferentes e interessantes podem ser gerados conforme o uso do material.
- A construção é limpa e não necessita de mão-de-obra experiente.

Fraquezas

- É menos resistente em comparação aos materiais de construção convencionais.
- O tempo de permanência do edifício pode ser limitado; dependendo das soluções aplicadas no projecto os tubos de papelão, se estiverem por exemplo muito expostos ao clima, podem se desgastar mais facilmente e ser menos duráveis.
- Necessita de um tratamento eficiente contra a absorção da humidade. Se não tratados adequadamente a resistência e a durabilidade são reduzidas.
- Devido a baixa resistência do material, as coberturas devem ser leves.

Oportunidades

- Estimula o estudo de formas criativas de construir e formas mais amigas do ambiente. Pesquisas contínuas podem levar ao desenvolvimento de tubos de papelão mais resistentes e duráveis.
- Possibilidade de colaboração entre indústrias de reciclagem e fabricantes de material de construção para desenvolver melhores produtos e promover o uso de tubos de papelão.
- Potencialidade de gerar postos de trabalho para mão-de-obra não qualificada.

Ameaças

- Pode haver uma resistência de arquitectos e constructores na adoção deste material por não fazer parte dos materiais mais conhecidos como materiais de construção.
- O preço do transporte do material do local de compra ao local de construção pode encarecer a obra.
- Não há regulamentações e normas para o uso de tubos de papelão em projectos de construção em Moçambique.

Conclusão

Com as actuais preocupações com o meio ambiente, os tubos de papelão feitos de papel reciclado oferecem uma solução de baixo impacto ambiental, contribuindo para a preservação dos recursos naturais e a redução de resíduos, ao mesmo tempo que proporciona resistência suficiente para aplicações na construção civil.

Ao revisar a literatura e desenvolver um projecto de um pavilhão temporário alternativo para a Feira Internacional de Maputo (FACIM), foi possível evidenciar o potencial dos tubos de papelão como um material reciclável, reutilizável, de fácil manuseio e de matéria-prima amplamente acessível no contexto actual para a sua produção.

Entre os desafios da implementação desta tecnologia construtiva no contexto local, destaca-se a ausência de indústrias de fabrico de tubos de papelão, especificamente para projectos de grande porte e ausência de normas de construção com este material, porém, ainda sim é possível, com estudos profundos, a realização de projectos experimentais de pequeno porte com os tubos de papelão isponíveis.

A escolha deste tema destaca a importância crescente de buscar práticas alternativas na arquitectura e construção civil. Espera-se que este trabalho tenha servido de reflexão e que promova a inovação neste ramo e o cuidado com o meio ambiente em todas as etapas do processo construtivo.

Recomendações

Edifícios feitos de papelão têm aplicabilidade nos cenários como: protótipos de habitação de baixo custo, estruturas temporárias ou espaços comerciais e educacionais.

Para aumentar a vida útil de edifícios construídos com tubos de papelão, algumas recomendações importantes são:

- **Proteger contra a humidade:** revestir os tubos para proteger os tubos de papelão da humidade, com materiais como tintas impermeáveis ou revestimentos protectores.
- **Projecto adequado:** é possível proteger o edifício com soluções projectuais que criam um invólucro que protege os tubos de papelão, para que estes não fiquem expostos a possíveis danos externos. Isto pode incluir, panos de vidro, beirais salientes, etc.
- **Manuseio cuidadoso:** evite danos físicos aos tubos durante a construção, transporte e manutenção, manuseando-os com cuidado.
- **Manutenção regular.**

A manutenção de edifícios feitos com tubos de papelão é crucial para garantir a sua durabilidade e segurança ao longo do tempo.

É recomendado:

- **Inspeção regular:** fazer inspeções visuais regulares para identificar quaisquer sinais de desgaste ou deterioração nos tubos de papelão, bem como em outras partes da estrutura, como peças de ligação e revestimentos. Caso identifique algum dano, faça reparos de imediato. Os reparos podem envolver substituição de tubos danificados ou aplicação de selantes.
- **Limpeza externa:** manter a área externa do edifício limpa e livre de detritos que possam causar danos aos tubos de papelão. Isso pode incluir a remoção de folhas, galhos e sujeira que se acumulam nas superfícies exteriores.
- **Protecção contra intempéries:** verificar regularmente o estado da cobertura e do revestimento externo do edifício para garantir que eles estejam a proteger adequadamente os tubos de papelão contra chuva, vento e luz solar intensa.

Para que a implementação de projectos desta natureza seja mais segura, é importante que se faça um estudo para a criação de regulamentos e normas do uso de tubos de papelão na construção em Moçambique.

Referências Bibliográficas

TESES

1. SALADO, Gerusa, 2006, Tese de Mestrado, Construindo com Tubos de Papelão, Universidade de São Paulo.
2. SALADO, Gerusa, 2011, Painel de Vedação Vertical de Tubos de Papelão: estudo, proposta e análise de desempenho, Universidade de São Paulo
3. CAMPOS, Mariana, 2020, Tese de Mestrado Integrado, Arquitetura humanitária de Shigeru Ban, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto.
LATKA, Jerzy F., 2017, Paper in architecture - Research by design, engineering and prototyping, Wroclaw University of Science and Technology and Kyoto University of Art and Design.

ARTIGOS DA INTERNET

1. SHIGERU BAN ARCHITECTS. SHIGERU BAN – from Temporary housings to Museums. Disponível em: <https://shigerubanarchitects.com/works/exhibitions/%e5%9d%82%e8%8c%82%e5%b%ba%e7%af%89%e5%b1%95-%e4%bb%ae%e8%a8%ad%e4%bd%8f%e5%ae%85%e3%81%8b%e3%82%89%e7%be%8e%e8%a1%93%e9%a4%a8%e3%81%be%e3%81%a7/>. Acessado em: 27.11.2023.
2. ESTRUCTURAS MEMARLAR. Sistemas Estructurales II - Analisis del Objeto Arquitectónico. Disponível em: <https://estructurasmemarlar.blog->

spot.com/2011/05/analysis-del-objeto-arquitectonico.html. Acessado em: 30.11.2023

3. AIMNEWS. FACIM é uma “fotografia” da viabilidade da economia nacional. Disponível em: <https://aimnews.org/2023/08/28/facim-e-uma-fotografia-da-viabilidade-da-economia-nacional-nyusi/>. Acessado em: 05.12.2023.

4. DOMUS WEB. Paper Tube pavilion. Disponível em: https://www.domusweb.it/en/news/2015/06/29/shigeru_ban_kotographie_paper_tube.html. Acessado em: 06.12.2023.

5. CASA DO ALUMINIO. Catálogo Painel Sanduíche. Disponível em: <https://www.casadoaluminio.co.mz/wp-content/uploads/2020/11/catalogo-painel-sandwich.pdf>. Acessado em: 07.12.2023.
TED. Shigeru Ban: Abrigos de emergência feitos de papel. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=q43uXdOKPD8>. Acessado em: 10.12.2023.

6. IE Business School. Timelapse video: The IE Paper Pavilion (Shigeru Ban). Disponível em: <https://youtu.be/9ZbFpTJyVYY?si=Fi6s169w7Rf-CarWe>. Acessado em: 10.12.2023

7. IE Business School. IE Paper Pavilion by Shigeru Ban Architects. Disponível em: <https://youtu.be/crJiZB7xy44?si=EjMAjPASodFYps32>. Acessado em: 11.12.2023

8. IE. El renombrado arquitecto japonés Shigeru Ban diseña un innovador pabellón para el IE. Disponível em: <https://www.ie.edu/es/business-school/noticias-y-eventos/que-esta-pasando/renowned-japanese-architect-shigeru-ban-designs-innovative-pavilion-ie/>. Acessado em: 11.12.2023.
9. Beta-architecture. The Cardboard House. Disponível em: <https://www.beta-architecture.com/the-cardboard-house-joaquim-sellas/>. Acessado em: 11.12.2023.
10. XW Architecture Journey. PAPER TUBES STRUCTURE MODEL À LA SHIGERU BAN. Disponível em: <https://xwarchitecture.com/paper-tubes-structure-model-shigeru-ban/>. Acessado em: 13.12.2023
11. PERFITEC. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS COBERTURA COM PLATIBANDA. Disponível em: https://perfitec.pt/PF/nova_web/_frames_DIR/SOLUCOES_CONSTRUTIVAS. Acessado em: 14.12.2023
12. Church Acoustics and Sound Systems. Where are the Carboard Tubes. Disponível em: <https://churchacousticsandsoundsystems.com/2017/08/28/where-are-the-carboard-tubes/>. Acessado em: 30.01.2023
13. Arquitectura Viva. Takatsuka lodge, Yakushima. Disponível em: <https://arquitecturaviva.com/works/cabana-takatsuka-9>. Acessado em: 18.03.2024
14. Clare Washington. SHIGERU BAN: BUILDING WITH PAPER – PAPER HOUSE. Disponível em: <https://clarewashington.wordpress.com/2012/12/10/shigeru-ban-building-with-paper-paper-house/>. Acessado em: 18.03.2024
15. Design Boom. Shigeru Ban Constructs Temporary Pavilion For Kyoto Photography Festival. Disponível em: <https://www.designboom.com/architecture/shigeru-ban-kotographie-paper-tube-temporary-pavilion-kyoto-05-31-2015/>. Acessado em: 19.03.2024
16. Arquitectura Viva. Hualin Temporary Elementary School, Chengdu. Disponível em: <https://arquitecturaviva.com/works/escuela-temporal-hualin-9#lg=1&slide=10>. Acessado em: 20.03.2024
17. Octatube. Cardboard. Disponível em: https://www.octatube.nl/en_GB/systems.html/systemitem/14-cardboard. Acessado em: 21.03.2024