



Viabilidade estrutural da utilização de eletrodutos metálicos na construção de estufas tubulares leves

Structural feasibility of using metallic conduits in the construction of light tubular greenhouses

André Candido de Souza

Universidade Federal da Grande Dourados - FAEN

eng.andrecandido@gmail.com

OrcID:0009-0000-7918-5682

Christian Souza Barboza

Universidade Federal da Grande Dourados - FAEN

christianbarboza@ufgd.edu.br

OrcID: 0000-0003-0316-7626

Recebido em: 2025-08-08

Aceito em: 2025-08-29

DOI: <https://doi.org/10.30612/ipsum.v1i1.20485>

RESUMO - A construção civil, caracterizada pelo alto consumo de recursos e geração de resíduos, utiliza amplamente o aço devido à sua resistência e leveza, apesar do impacto ambiental de sua produção. Este trabalho investiga a reutilização de eletrodutos metálicos para a construção de treliças em estufas voltadas à agricultura familiar. A metodologia se baseou em uma revisão bibliográfica sobre o item, modelagem da estrutura da estufa e cálculos estruturais visando garantir a estabilidade e segurança da edificação proposta. Para a consideração dos esforços atuantes, foram analisados tipos cargas usuais e acidentais. O modelo proposto foi detalhado, incluindo especificações para ligações e pontos de montagem. A estrutura, com dimensões de 12x6x3,1m, apresentou um peso total de 987 kg, sendo significativamente mais leve em relação ao recomendado por Nakamura (2006). As máximas reações obtidas para esforço normal e momento fletor foram, respectivamente, 2,530kgf, e 0,314kgf.m. O ponto crítico para o dimensionamento

foi a parte frontal, devido à ação do vento na abertura dominante. Conclui-se que há viabilidade estrutural para a construção de uma estufa leve, utilizando materiais reaproveitados. Essa abordagem não apenas contribui na reincorporação de resíduos da construção civil, mas também oferece uma solução economicamente viável para a agricultura familiar, diminuindo o consumo de novos materiais e reduzindo o impacto ambiental associado à produção de aço.

Palavras-chave: Estruturas metálicas; Agricultura familiar; Sustentabilidade.

ABSTRACT – Civil construction, characterized by high resource consumption and waste generation, widely uses steel due to its strength and lightness, despite the environmental impact of its production. This work investigates the reuse of metal conduits for the construction of trusses in greenhouses aimed at family farming. The methodology was based on a literature review on the item, modeling of the greenhouse structure and structural calculations to ensure the stability and safety of the proposed building. To consider the acting efforts, usual and accidental load types were analyzed. The proposed model was detailed, including specifications for connections and mounting points. The structure, with dimensions of 12x6x3m, had a total weight of 987 kg, being significantly lighter than the estimates of previous studies. The maximum reactions obtained for axial effort and bending moment were, respectively, 2.530kgf and 0.314kgf.m. The critical point for the design was the front part, due to the action of the wind in the dominant opening. It is concluded that there is structural feasibility for the construction of a light greenhouse, using reused materials. This approach not only contributes to the reincorporation of construction waste, but also offers an economically viable solution for family farming, reducing the consumption of new materials and reducing the environmental impact associated with steel production.

Keywords: Metal structures; Family farming; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que consome muitos recursos, e ao final de seus processos, gera muitos resíduos. O aço é um desses recursos muito utilizado na construção civil. Por sua resistência estrutural elevada, permite a utilização de grandes vãos e a utilização de perfis esbeltos. Além disso, por possuir uma alta relação resistência/peso, são estruturas mais leves, gerando menos impacto nas fundações, e consequentemente no solo (Martins, 2014). Por outro lado, a produção do aço gera grandes impactos ambientais, por seu consumo energético alto e sua geração de gases de efeito estufa (Liubartas et al., 2015).

Esses impactos ressaltam a importância de adotar práticas de desenvolvimento sustentável na construção civil. Define-se o desenvolvimento sustentável é a busca por equilibrar as necessidades da geração atual com as das futuras. Isso implica garantir que as pessoas possam desfrutar de um bom nível de vida, ao mesmo tempo em que utilizamos os recursos naturais de forma consciente, preservando a biodiversidade e os ecossistemas. O objetivo é promover o progresso social e econômico sem comprometer a saúde do planeta para as próximas gerações. (Scharamm; Corbetta, 2015).

Segundo Costa (2019), a sustentabilidade resulta do entrelace de três dimensões: econômica, social e ambiental. O descuido com o consumo energético, recursos e impactos ambientais contraria os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

Embora o uso do aço como sistema estrutural possa reduzir a utilização de materiais construtivos em outras etapas, como na fundação, seu processo de fabricação não corrobora com o desenvolvimento sustentável. Portanto, reutilizar o aço promove uma construção mais sustentável. A busca por campos que permitam a reutilização de materiais auxilia no desenvolvimento sustentável.

Um desses campos promissores é a agricultura familiar, que se destaca como um setor promissor para a aplicação de práticas sustentáveis, incluindo a reutilização de materiais. A lei 11.326 define a agricultura familiar como uma atividade desenvolvida em pequenas propriedades rurais, com mão de obra predominantemente familiar e a maior

parte da renda proveniente da atividade rural (BRASIL, 2006). De acordo com Mendanha e Costa (2022), a agricultura familiar contribui para a biodiversidade e a sustentabilidade, pautada na diversificação de produtos e no baixo impacto ambiental. Portanto, incentivá-la também auxilia em um desenvolvimento mais sustentável.

Historicamente, o homem adaptou o ambiente para o cultivo de alimentos, desenvolvendo técnicas como preparo de solo, irrigação e defesa contra pragas (Mendanha; Costa, 2022). Uma técnica importante são as estufas, utilizadas há anos no cultivo de alimentos (Martins, 2014). Para incentivar a agricultura familiar, é necessário condicionar o ambiente de cultivo sem grandes alterações.

Em contrapartida, a agricultura familiar, apesar de ser a maioria no agronegócio brasileiro, vem diminuindo nos últimos anos. Segundo o Censo Agropecuário (IBGE, 2017), representa 77% das propriedades agrícolas do país, mas ocupa apenas 23% da área agrícola total. Uma parte considerável do abastecimento do mercado interno é feita por este setor, que emprega muitos trabalhadores do campo (Mendanha, Costa, 2022). Portanto, é de grande importância no cenário alimentício do país.

Mendanha e Costa (2022) destacam que a agricultura familiar protege a biodiversidade e se organiza de acordo com sua lógica própria. As unidades familiares promovem inclusão social, com todos os membros participando das atividades. A agricultura familiar aloca eficazmente seus recursos, estabelecendo processos competitivos e sustentáveis, mantendo a relação harmoniosa entre homem e natureza.

O incentivo à agricultura familiar é crucial para o desenvolvimento sustentável. Por sua natureza diversificada e práticas agroecológicas, promove a conservação dos recursos naturais e a biodiversidade (Silva, 2020). Investimentos em infraestrutura, assistência técnica e acesso a mercados fortalecem a capacidade produtiva e a resiliência dessas comunidades, promovendo um desenvolvimento rural mais justo e equilibrado (Almeida, 2019). Apoiar este setor não apenas fortalece a segurança alimentar, mas também assegura um futuro mais sustentável para as próximas gerações.

Uma das estratégias bem-sucedidas é o cultivo de vegetais em ambiente controlado, neste sentido, as estufas agrícolas, segundo a NBR 16.032, são ambientes

artificiais destinados à proteção e controle climático de produtos agrícolas, permitindo o trabalho interno de pessoas (ABNT, 2012). Surgiram no início do século XX no norte da Europa para proteger culturas do inverno rigoroso (Martins, 2014).

Historicamente, o vidro foi o material mais usado, oferecendo boa transmitância térmica e proteção contra o frio, mas é frágil e pesado, exigindo estruturas robustas que podem comprometer a entrada de luz (Martins, 2014). Alternativamente, filmes plásticos e sintéticos são populares em países de clima quente devido ao baixo custo, leveza e boas propriedades térmicas, embora tenham menor resistência mecânica e vida útil reduzida (Martins, 2014). No Brasil, os materiais mais comuns fabricados e comercializados são os filmes de polietileno de baixa densidade (PEBD) e de alta densidade (PEAD), o etileno vinil acetato (EVA) e o polietileno linear (Campagnol, Rafael et al., 2015).

As estufas podem ter diversas formas. Nas Figuras 1, 2 e 3, vemos os modelos de estufa mais utilizados no Centro oeste.

Figura 1: Estufa em túnel alto.



Fonte: Campagnol et. al (2015).

Figura 2: Estufa tipo Mansard.



Fonte: Reis (2005).

Figura 3: Estufa modelo capela.



Fonte: Reis (2005).

As primeiras estufas na região Centroeste foram construídas artesanalmente com materiais locais e mão de obra qualificada, começando pelo túnel alto (Figura 1), feito de bambu (Reis, 2005). Consiste em uma estrutura feita em formato de túnel, com altura entre 3 e 4 metros.

O modelo de estufa Mansard (Figura 2), com telhado em dois níveis, melhora a captação de luz solar e maximiza o espaço interno. É ideal para culturas que requerem um ambiente bem iluminado e espaço vertical, como algumas hortaliças e flores. (FAO, 2013; Pereira et al., 2015).

Segundo Campagnol et al. (2015), a capela (Figura 3) foi uma das primeiras estufas no Brasil, com forma triangular e cobertura de duas águas, semelhante a uma capela. Geralmente, é feita de madeira, requerendo reforço devido à baixa resistência aos ventos, e é adequada para regiões com alto índice pluviométrico, devendo ser construída em terrenos planos.

Outras formas de se construir estas estruturas são com a utilização de materiais construtivos mais eficientes estruturalmente, neste sentido, as estufas agrícolas em estruturas metálicas são destacadas pela eficiência e durabilidade. O aço é escolhido por sua alta resistência mecânica e leveza, permitindo estruturas robustas e leves. Além disso, oferece flexibilidade de design para maximizar a entrada de luz solar e ventilação, cruciais para o cultivo protegido (Martins, 2014). Além disso, o uso de estruturas metálicas contribui para a sustentabilidade, uma vez que o aço é 100% reciclável, alinhando-se aos princípios de construção sustentável e minimização de impacto ambiental (Liubartas et al., 2015).

Esses fatores fazem das estruturas metálicas uma escolha lógica e eficiente para estufas, principalmente em regiões onde a durabilidade e a resistência a fatores climáticos são essenciais. A eficiência no uso do material e a possibilidade de reaproveitamento contribuem para um sistema de produção agrícola mais sustentável e econômico.

Estruturalmente, os esforços atuantes nas estruturas de estufas agrícolas são definidos pela NBR 16.032 (ABNT, 2012), que recomenda que o dimensionamento de estufas projetadas em estrutura metálica seja feito conforme a NBR 8.800 (ABNT, 2008).

Assim, na NBR 8.800 são dadas as ações utilizadas para o levantamento de cargas da estrutura, que são definidas nos seguintes grupos (ABNT, 2008):

- **Ações permanentes diretas:** São constituídas pelo peso próprio da estrutura, peso dos elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Ou seja, toda a carga devida aos materiais e equipamentos que a compõem.
- **Ações variáveis:** São aquelas que variam durante a vida útil da estrutura, como sobrecarga, ação do vento e efeito de temperatura.
- **Ações excepcionais:** São aquelas que têm duração extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrência, como, por exemplo, choque de veículos.

Uma alternativa à materiais tradicionalmente utilizados para edificar estas estruturas é a reutilização de partes de construções a serem descontinuadas ou, ainda, a utilização de materiais mais acessíveis como os eletrodutos. Estes elementos são tubos usados na condução e proteção de condutores elétricos, conforme especificado pela ABNT 5598 (2013). Eles podem ser fabricados em diversos materiais, como PVC, alumínio ou aço. No caso dos eletrodutos metálicos, eles podem ser fabricados em alumínio ou aço carbono (ELECON, 2017).

Os eletrodutos metálicos se dividem em diferentes tipos e classes de resistência. Entre os tipos, destacam-se os eletrodutos galvanizados, que recebem uma camada de zinco para aumentar a resistência à corrosão, e os eletrodutos rígidos, que são mais robustos e oferecem maior proteção mecânica (ELECON, 2017). A diferença entre ambos é a espessura da parede do eletroduto, com os rígidos possuindo espessuras maiores.

Além disso, os eletrodutos metálicos possuem características específicas como espessura da parede, diâmetro e comprimento padrão, que variam conforme a aplicação e as normas de fabricação. Por exemplo, os eletrodutos de aço laminado SAE apresentam uma excelente resistência mecânica e são ideais para instalações que requerem maior durabilidade e segurança (ELECON, 2017).

Para a aplicação deste material, com pouca resistência específica em estruturas espaciais, o uso de treliças se apresenta promissor. Estes elementos são estruturas compostas por barras retas conectadas por nós, formando um conjunto estável que

suporta cargas aplicadas sobre os nós. Segundo Sussekind (1981), as treliças distribuem as cargas pelas barras, sujeitas apenas a esforços de tração ou compressão, simplificando a análise estrutural. Na geometria, são utilizadas as formas triangulares devido à sua estabilidade. Essas estruturas permitem cobrir grandes vãos sem suportes intermediários, distribuindo eficientemente as forças ao longo das barras. Sussekind (1981) menciona que para analisar as forças em uma treliça sob carga, usam-se métodos como o dos nós ou das seções, garantindo segurança e eficiência no projeto.

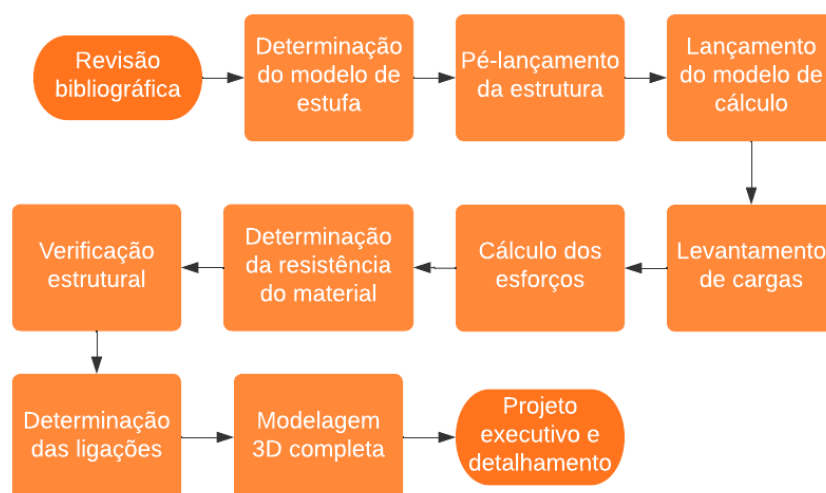
Suas ligações rotuladas em estruturas metálicas são essenciais para a estabilidade e funcionalidade das construções, permitindo que os componentes se conectem e girem livremente sem transferir momentos fletores significativos. Segundo Castro (2015), essas ligações transmitem apenas forças de tração e compressão, sendo ideais para estruturas que requerem flexibilidade, como pontes e edifícios altos. Na prática, métodos como parafusos, soldas e pinos são utilizados para criar essas ligações. Em ligações com parafusos, a força de aperto deve ser ajustada para não restringir a rotação relativa dos componentes, enquanto as soldas são aplicadas de forma a não impedir o movimento rotacional. O dimensionamento das ligações deve considerar os esforços de tração e compressão para manter a integridade estrutural.

Assim, a problemática a ser estudada é a reutilização de eletrodutos metálicos como material base para estufas voltadas para a agricultura familiar, promovendo a responsabilidade ambiental da construção civil e fortalecendo o setor de agricultura familiar com um modelo estrutural economicamente viável para o desenvolvimento de culturas alimentícias.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada envolveu várias etapas detalhadas a seguir, que foram essenciais para o desenvolvimento do projeto. A Figura 5 resume o processo realizado em um fluxograma.

Figura 5: Fluxograma de método.



Fonte: Autores (2024)

3.1 Seleção de layout para a modelagem da estufa

Foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre o tema, abordando conceitos fundamentais e estudos anteriores sobre o uso de treliças em estufas agrícolas. Com base nessa revisão, determinou-se o modelo de estufa mais adequado, levando em consideração os modelos mais usuais e eficientes para a região de Dourados-MS. Para este estudo, foram adotadas as dimensões de 12m de comprimento, 6m de largura e 2m de altura.

3.2 Pré-lançamento da estrutura

O pré-lançamento da estrutura foi realizado por meio do software autoCAD (licença estudantil). Consistiu no desenho em 3D do diagrama unifilar da estrutura, no qual cada linha desenhada representa uma barra.

3.3 Lançamento do modelo de cálculo

Nessa etapa foram definidos os pressupostos de cálculo, como vínculos de ligação entre as barras e graus de liberdade dos elementos. Todas as ligações foram consideradas rotuladas em pelo menos um grau de liberdade, de modo que os momentos fletores fossem resistidos pelos pórticos, evitando momentos fletores resultantes nas

ligações. As bases foram consideradas engastadas, exceto os pilares intermediários dos pórticos da frente e do fundo da estufa, para que os momentos fletores gerados pelos pórticos pudessem ser distribuídos.

O lançamento do modelo de cargas foi feito no software STRAP (licença gratuita). Todos os elementos de alma das treliças, terças, travamentos das terças e travamentos das treliças foram considerados rotulados. A vinculação dos banzos e pilares ocorreu somente em um único sentido. Todos os pilares foram engastados em uma direção. Além disso, as barras dos banzos foram combinadas, de forma a se comportarem como uma única barra. O mesmo aconteceu com as barras que constituem os pilares.

3.4 Levantamento de cargas

O levantamento de cargas foi realizado conforme as normas NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 6120 (ABNT, 2019) e NBR 6123 (ABNT, 2023), como recomenda a NBR 16.032 (ABNT, 2012), que dispõe sobre o cálculo de estufas agrícolas.

Foram consideradas como ações permanentes o peso próprio da estrutura e o peso do filme sintético. Como cargas variáveis, foram consideradas as ações do vento, e a sobrecarga estrutural de 25kg/m^2 , conforme recomendado pela NBR 6.120 (ABNT, 2019).

A pressão dinâmica do vento foi calculada considerando velocidade básica do vento de 45m/s , terreno plano ou fracamente acidentado, edificação de classe A, com altura máxima de $3,10\text{m}$. A Tabela 1 resume os coeficientes calculados segundo a NBR 12.032 (ABNT, 2012) para a edificação. Esses coeficientes dizem respeito à intensidade com que a pressão do vento atinge cada região da estufa, e o valor de cada um é dado pela mesma norma. Quando são positivos, significa que causam efeito de sobrepressão na região afetada, ou seja, tendem a “empurrar” a estrutura. Por outro lado, quando são negativos, causam efeito de sucção, tendendo a “puxar” a estrutura.

Tabela 1 – Coeficientes de forma atuantes na estrutura.

COEFIC.	VALOR	VALOR x Pdin. (kgf/m ²)
K	0,6	41,94
A	-0,5	-34,95
B	-0,53	-37,05
L	-0,3	-20,97
M	-0,3	-20,97
FF	-0,5	-34,95
EE	-1,2	-83,88
MM	-0,8	-55,92
NN	-0,5	-34,95

Fonte: Autores, 2024.

3.5 Cálculo dos esforços atuantes

Os esforços foram calculados pelo software STRAP (licença estudantil). Para tanto, foram utilizadas as combinações normais de ação, conforme a NBR 8.800 (ABNT, 2008), definidas pela Equação (1):

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \Psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (1)$$

Onde:

$\gamma_{gi} \gamma_{gi}$

– Coeficiente de ponderação da ação permanente considerada;

$F_{Gi,k} F_{Gi,k}$

– Ação permanente;

$\gamma_{q1} \gamma_{q1}$

– Coeficiente de ponderação da ação variável principal considerada;

$F_{Q1,k} F_{Q1,k}$

– Ação variável principal;

$$\gamma_{qj}\gamma_{qj}$$

– Coeficiente de ponderação da ação variável secundária;

$$\Psi_{0j}\Psi_{0j}$$

– Coeficiente de redução da ação variável secundária;

$$F_{Qj,k}F_{Qj,k}$$

– Ação variável secundária.

Os coeficientes de ponderação das ações foram definidos de acordo com as tabelas 1 e 2 da NBR 8.800 (ABNT, 2008). Tais coeficientes servem para combina os esforços atuantes, majorando ou diminuindo os mesmos, de acordo com a probabilidade de ocorrerem simultaneamente, sempre buscando o caso mais desfavorável para a estrutura. A Tabela 2 resume as combinações utilizadas para o dimensionamento estrutural da estufa.

Tabela 2 – Combinações para o estado limite último.

ITEM	COMBINAÇÃO
1	$1,25 * PP + 1,35 * AP + 1,5 * SC$
2	$1,25 * PP + 1,35 * AP + 1,5 * SC + 0,84 * V$
3	$1,25 * PP + 1,35 * AP + 1,4 * V$
4	$1,25 * PP + 1 * AP + 1,4 * V$

Fonte: Autores (2024).

Na Tabela 2, PP é a ação do peso próprio; AP é a ação permanente do filme sintético; SC é a sobrecarga considerada; e por fim, V é a ação do vento.

3.6 Escolha do material pela resistência

Para a escolha do material, foram utilizadas tabelas e informações fornecidas pelos fabricantes, já que o eletroduto metálico se trata de um produto comercial.

A NBR 8.880 (ABNT, 2008) determina que a resistência mínima estrutural do aço que pode ser utilizada em projetos é de 180MPa. A Tabela 3 traz a resistência do aço carbono, com classificação SAE, o qual é utilizado para a fabricação dos eletrodutos.

Tabela 3 – Limites de Escoamento de Barras de Aço Laminadas a Quente

SAE	PROCESSAMENTO	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)
1006	LAMINADO	170
1008	LAMINADO	170
1010	LAMINADO	180
1012	LAMINADO	180

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal (2017), p. 62.

Como visto na Tabela 3, as faixas de aço SAE 1006 e 1008 possuem resistência ao escoamento de 170MPa, enquanto que as faixas 1010 e 1012 possuem limite de resistência em 180MPa. Portanto, o aço utilizado no dimensionamento necessita ser aço carbono, com classificação SAE 1010 ou 1012, considerando que possui resistência ao escoamento de 180MPa.

3.7 Verificação estrutural

Com base nos esforços obtidos, foi realizada a verificação estrutural de todas as barras, a fim de determinar as seções apropriadas para cada elemento da estrutura. Consistiu em um processo de tentativa e erro, escolhendo inicialmente as seções comerciais com menor área de aço, e aumentando gradativamente, até encontrar uma que atendesse ao esforço solicitado para aquela barra, buscando o dimensionamento mais econômico possível, ou seja, com menor gasto de aço possível.

3.8 Determinação do modelo de ligações

A escolha do modelo de ligação para toda a estufa baseou-se nas condições de vínculos determinadas na etapa de modelo de cálculo, buscando a forma mais simples e viável que atendesse aos requisitos determinados.

3.9 Modelagem 3D

A estrutura foi modelada com o auxílio do software Tekla Structures (licença estudantil), para se ter uma melhor visualização do resultado. O processo de modelagem consistiu em verificar as seções resultantes do dimensionamento estrutural e representá-las em dimensões proporcionais às dimensões reais, de forma tridimensional, criando uma representação digital da estrutura real.

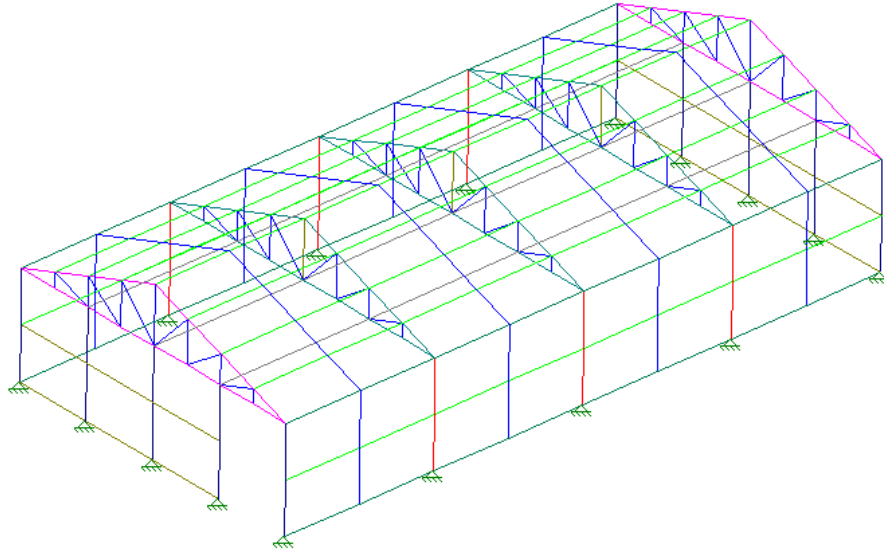
3.10 Detalhamento e projeto executivo

A estrutura foi detalhada por meio do software AutoCAD, utilizando uma licença estudantil, para garantir a precisão e a clareza dos desenhos técnicos. Foram feitas duas plantas de locação das peças, com cotas e eixos, indicando os perfis a serem utilizados em cada barra, sendo uma no nível das vigas de travamento, e outra mostrando toda a cobertura. Além disso, foram feitos cortes em todas as faces da estufa, além dos pórticos internos, mostrando os eixos e níveis de posição das peças. Por fim, foram feitos outros dois desenhos especificamente para detalhar as treliças determinadas no cálculo estrutural.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo escolhido para estufa foi o tipo capela, por ser um modelo em duas águas, de fácil execução. De acordo com Reis (2005), o modelo capela é amplamente utilizado em estufas do centro-oeste, por conta das precipitações intensas no período do verão. Campagnol et al. (2015) reforça que o modelo é propício para regiões com precipitações intensas. Portanto, a escolha está de acordo com os autores. A Figura 6 mostra o resultado do lançamento da modelo escolhido no software STRAP.

Figura 6 – Estrutura lançada no software.

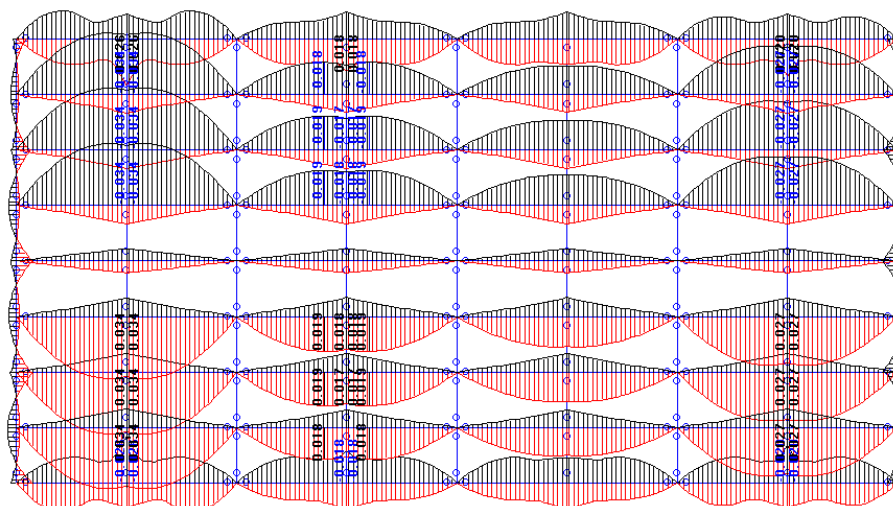


Fonte: Autores (2024).

A pressão dinâmica encontrada para as condições de terreno consideradas foi de $69,9 \text{ kgf/m}^2$. Bomura (2019) encontrou para condições semelhantes o valor de $64,99 \text{ kgf/m}^2$. Pode-se considerar que o cálculo da pressão dinâmica do vento está de acordo com Bomura (2019).

A Figura 7 traz os diagramas de momentos fletores máximos para as terças de cobertura. Observa-se que os momentos fletores máximos ocorrem no primeiro vão, na parte frontal da estufa, por conta da combinação entre o vento de sucção que ocorre na terça e a pressão interna gerada pelo vento, já que no caso de vento frontal o coeficiente de pressão interna é maior, devido a abertura da porta.

Figura 7 – Diagramas de momentos fletores nas terças de cobertura.

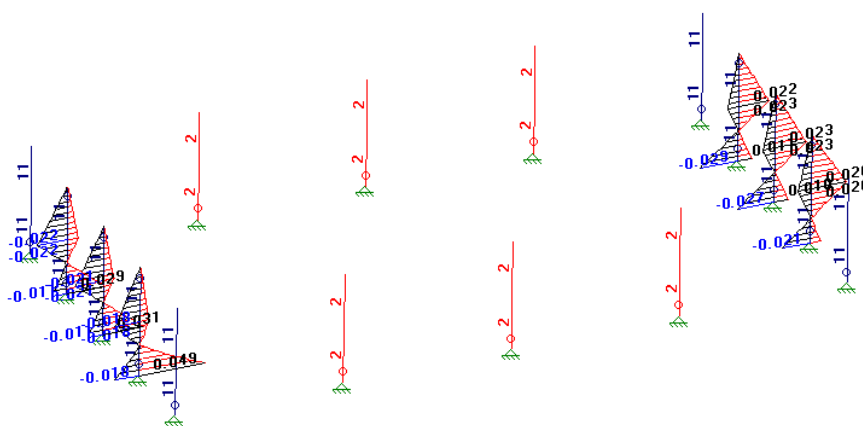


Fonte: Autores (2024).

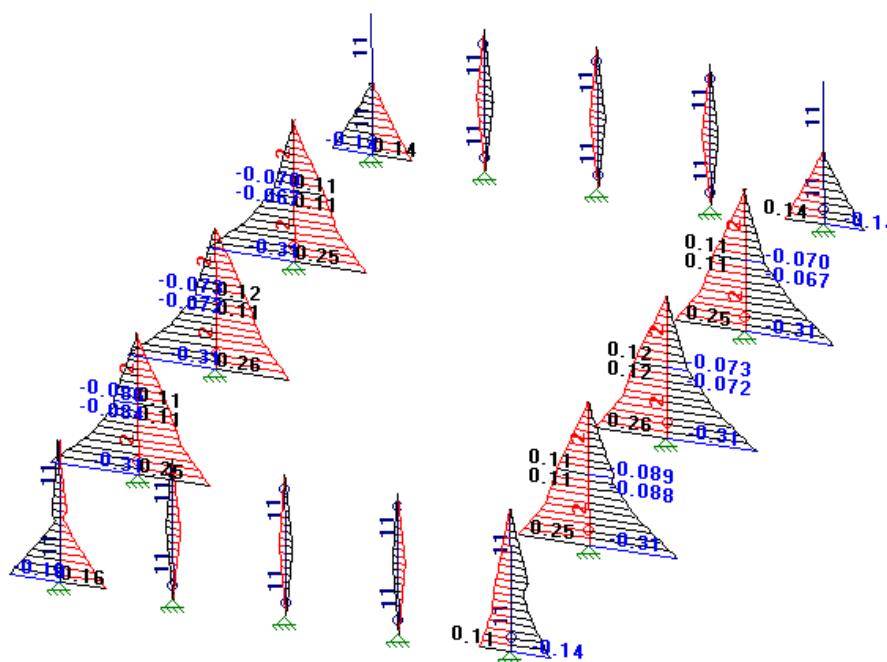
Nota-se que na Figura 7 que no primeiro vão o valor máximo do momento fletor é de 34kgfm, enquanto que no último vão o valor máximo é de 27kgfm, gerando uma diferença de 20,6%. O mesmo ocorre com as terças de fechamento das laterais mais compridas.

As Figuras 8 e 9 mostram o comportamento dos pilares da estrutura.

Figura 8 – Momentos fletores nos pilares da frente e fundo.



Fonte: Autores (2024).

Figura 9 – Momentos fletores nos pilares das laterais.

Fonte: Autores (2024).

Nota-se na Figura 8 que os pilares frontais apresentam pequenas diferenças nos diagramas de momento fletor em relação aos pilares do fundo. Essas diferenças são devidas à falta de duas terças de fechamento na parte frontal, em virtude do vão de abertura da porta. Já na Figura 9, percebe-se que as diferenças nos resultados são mínimas. Esse resultado era esperado, já que os esforços existentes nos elementos de ambos os lados são iguais.

As Figuras 13, 14 e 15, presentes no anexo A, contém o detalhamento em planta e cortes da estrutura, indicando os perfis, cotas e posições de cada elemento, configurando um projeto executivo. A Figura 16 contém o detalhamento da treliça tipo 1, enquanto a Figura 17 contém o detalhamento da treliça tipo 2, também presentes no anexo.

A Tabela 4 resume as quantidades para cada tipo de perfil resultante do dimensionamento.

Tabela 4 – Resumo dos perfis utilizados.

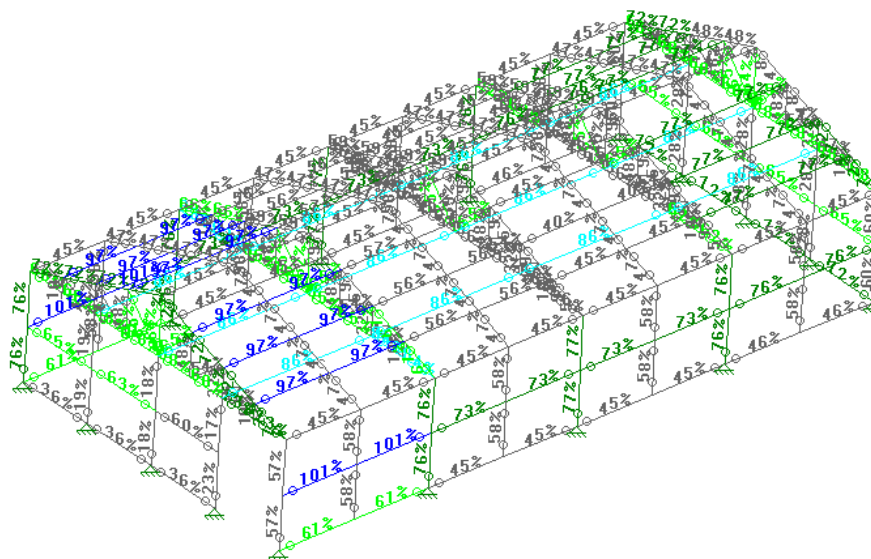
PERFIL	MATERIAL	COMPRIMENTO (m)	PESO LÍQ. (kg)
TB 25x0.9	SAE-1010	88,43	47
TB 32x0.9	SAE-1010	24,77	17
TB 40x0.9	SAE-1010	24,27	21
TB 40x2.25	SAE-1010	37,15	78
TB 50X0.9	SAE-1010	36	39
TB 65X2.65	SAE-1010	156	636
TB 100x1.5	SAE-1010	20	73
TB 100X2.65	SAE-1010	12	76

Fonte: Autores (2024).

Nota-se, pela Tabela 3, que a estufa dimensionada apresenta o peso total da estrutura metálica de 987kg. Considerando a área de 72m² da estufa, o peso obtido por área foi igual a 13,71kg/m². Almeida (2012) apresenta em seu trabalho o dimensionamento de galpões metálicos para diversos vãos. Para vão de 10m, com pé-direito de 7m, o peso mais econômico obtido é de 23kg/m². Nota-se que o resultado obtido no presente trabalho está bem abaixo do resultado obtido por Almeida (2012), representando uma diferença de 40%. Isso se deve às diferentes condições de dimensionamento, como altura do edifício, vento característico, vão livre, etc. Nakamura (2006) considera como uma estimativa o peso de 20 a 25kg/m² para galpões industriais sem ponte rolante. Em relação ao peso mínimo, a estufa possui um dimensionamento 31,5% menor. Portanto, nota-se que o dimensionamento obtido foi mais econômico do que o dos autores.

A Figura 10 mostra o percentual utilizado de cada barra em relação à resistência total do perfil ao esforço máximo.

Figura 10: Percentual de resistência utilizada para cada barra.

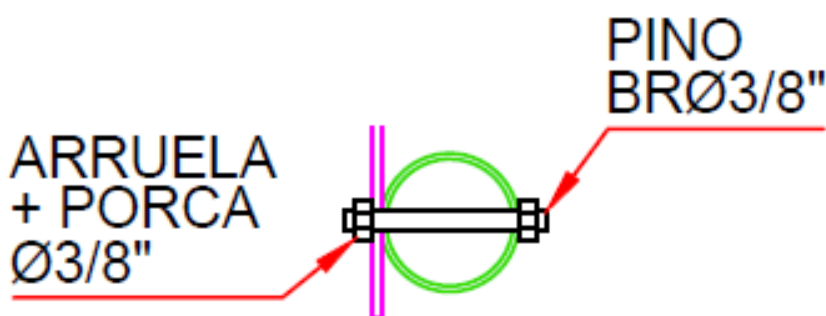


Fonte: Autores (2024).

Percebe-se pela Figura 10 que todos os perfis determinados possuem resistência suficiente para suportar os esforços solicitantes.

Para as ligações, optou-se por escolher um modelo que atenda a toda a estrutura. Optou-se por amassar a ponta do perfil secundário, e utilizar uma barra roscada com arruelas e porcas para a fixação, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Ligação entre os perfis.

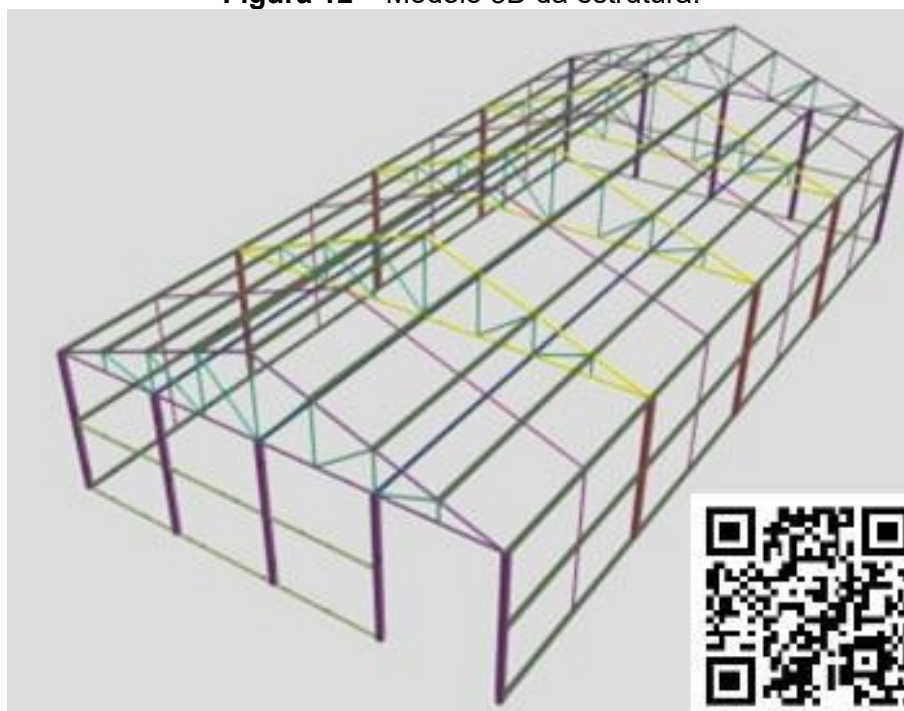


Fonte: Autores (2024).

Observa-se que o modelo da Figura 11 configura uma ligação rotulada, assim atendendo às condições de vínculo consideradas no cálculo. Além disso, a ligação é simples, facilitando a montagem ou desmontagem da estrutura.

Na Figura 12, é apresentado o resultado da modelagem feita da estufa, na qual o código QR presente possibilita o acesso virtual ao modelo da estrutura.

Figura 12 – Modelo 3D da estrutura.



Fonte: Autores (2024).

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa investigou a viabilidade da reutilização de eletrodutos metálicos na construção de treliças para estufas voltadas à agricultura familiar, em um contexto de promoção da sustentabilidade na construção civil. O estudo destacou a importância da sustentabilidade, não apenas no consumo de recursos, mas também na minimização de resíduos, alinhando-se aos princípios de desenvolvimento sustentável, como os ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis) (ONU, 2024).

O dimensionamento resultou em uma estufa com dimensões de 6x12x2m, do tipo capela, adaptada às condições climáticas da região. A estrutura, composta por perfis tubulares de eletrodutos em aço, apresentou um peso total de 987 kg. Este valor é 31,5% inferior ao estimado por Nakamura (2006) e 40% inferior ao obtido por Almeida (2012) para estruturas semelhantes, o que pode evidenciar a eficiência do sistema e material dimensionado.

Conclui-se que a estufa projetada é uma estrutura leve e eficiente, contribuindo significativamente para o reaproveitamento de materiais. A utilização de eletrodutos metálicos reutilizados não só reduz os custos de construção, mas também minimiza o impacto ambiental, promovendo a sustentabilidade. Além disso, o modelo dimensionado facilita a montagem e desmontagem devido ao design das ligações propostas, que permitem uma instalação rápida e segura. Por fim, a pesquisa destaca a importância de soluções sustentáveis na agricultura, incentivando a inovação e a prática da economia circular. A adoção desse modelo pode representar um avanço significativo para pequenos agricultores, proporcionando-lhes uma ferramenta eficaz para aumentar a produtividade e promover a sustentabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. (2019). **Políticas Públicas e o Desenvolvimento Rural Sustentável**. Revista Brasileira de Estudos Rurais, 15(2), 45-67.

NBR 16.032: **Estrutura de estufa e viveiro agrícola – requisitos de projeto, construção, manutenção e reparo**. Rio de Janeiro, 2012.

NBR 6120: **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

NBR 6123: **Forças devido ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2023.

NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

NBR 5598: **Eletroduto de aço-carbono e acessórios, com revestimento protetor e rosca BSP – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. **Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2006.

CASTRO, Carlos Eduardo Silva de. **Ligações em Estruturas Metálicas**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

COSTA, Bianca da Silva Lima Miconi. **Um estudo sobre a sustentabilidade**. 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

ELECON. **Elecon - A opção segura para suas instalações**. 2017.

FAO. **"Greenhouse Technology"**. 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agro 2017**. Brasil, 2019.

LIUBARTAS, D.; SILVA, E. A. S. de B. e; SANTOS, E. A. M. dos; SILVA, J. E. da; FORMIGONI, A. **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas**. *Journal of Engineering and Technology Innovation*, v. 3, n. 1, p. 92–110, abr. 2015.

MARTINS, S. G. G. de L. **Estufas agrícolas em estruturas metálicas: Caracterização da problemática dos danos resultantes da ação do vento**. 2014. 75 f. Monografia (Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014.

MENDANHA, J. F.; COSTA, K. G. **Pensando sobre agroecologia e agricultura familiar**. *Agricultura familiar: Pesquisa, formação e desenvolvimento*, v. 15, p. 9-32, jul.-dez. 2021.

NAKAMURA, J. **Era do aço**. Revista A U Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, ed. 152, 2006.

NUNES DE ALMEIDA, P. M.; FERNANDO PESSOA, U. **Metálicas segundo o Eurocódigo 3: Análise comparativa entre diversas concepções estruturais para edifícios industriais**. 2012.

PEREIRA, P. A., ET AL. **"Sistemas de Cultivo em Estufas"**. 2015. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

REIS, N. V. B. dos. **Construção de estufas para produção de hortaliças nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Embrapa Hortaliças - Circular Técnica (INFOTECA-E), v. 38, n. 31468, p. 16, 2005.

SCHRAMM, Alexandre Murilo; CORBETTA, Janiara Maldaner. **Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade: conceitos antagônicos ou compatíveis?** In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; ARMADA, Charles Alexandre. Sustentabilidade, meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas [e-book]. Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2015.

SILVA, M. (2020). **Práticas Agroecológicas na Agricultura Familiar**. Cadernos de Agroecologia, 5(1), 78-91.

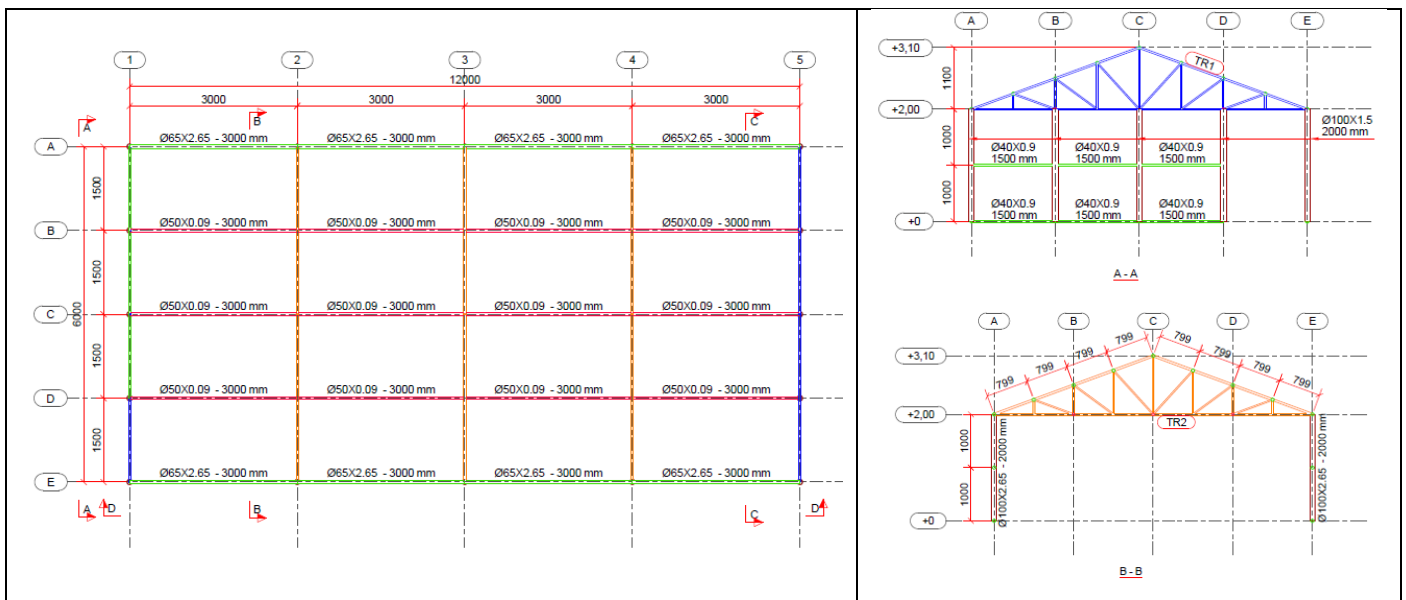
SUSSEKIND, José Carlos. **Curso de Análise estrutural**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1981.

Cultivo de hortaliças em ambiente protegido / Rafael Campagnol ; Simone da Costa Melo [e] Renes Rossi Pinheiro. – Curitiba : SENAR - Pr., 2015. – 72p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 23 out. 2024.

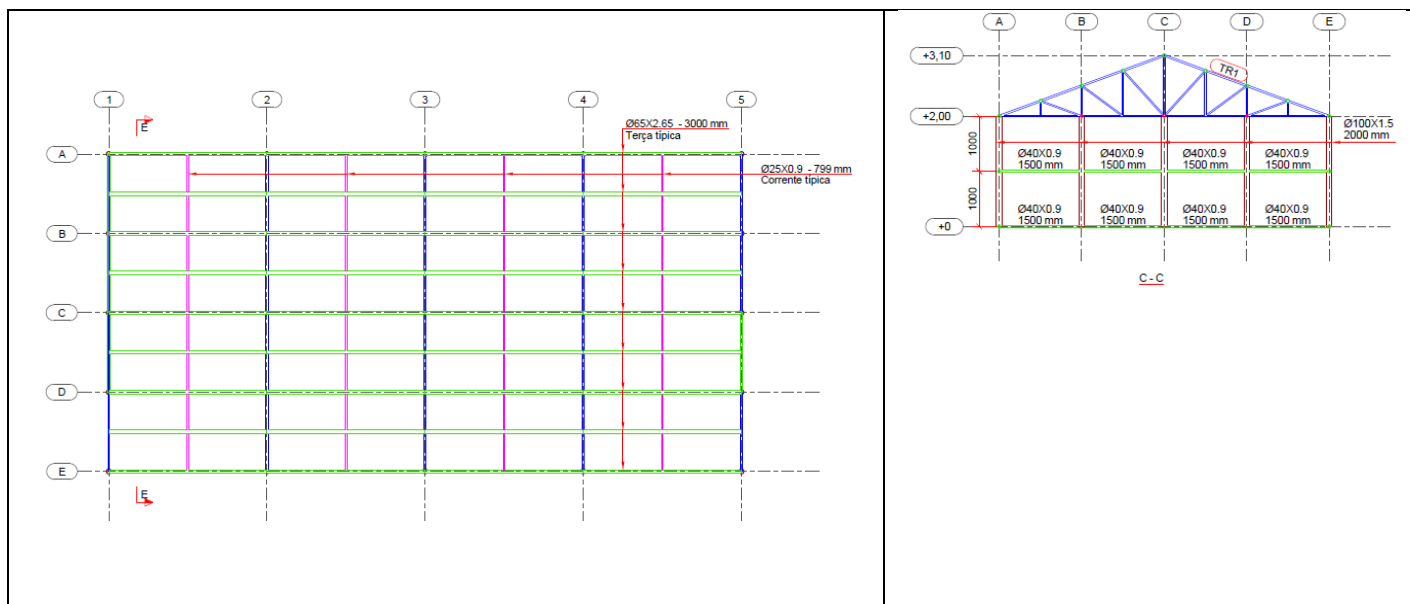
ANEXO A

Figura 13 – Planta Baixa.



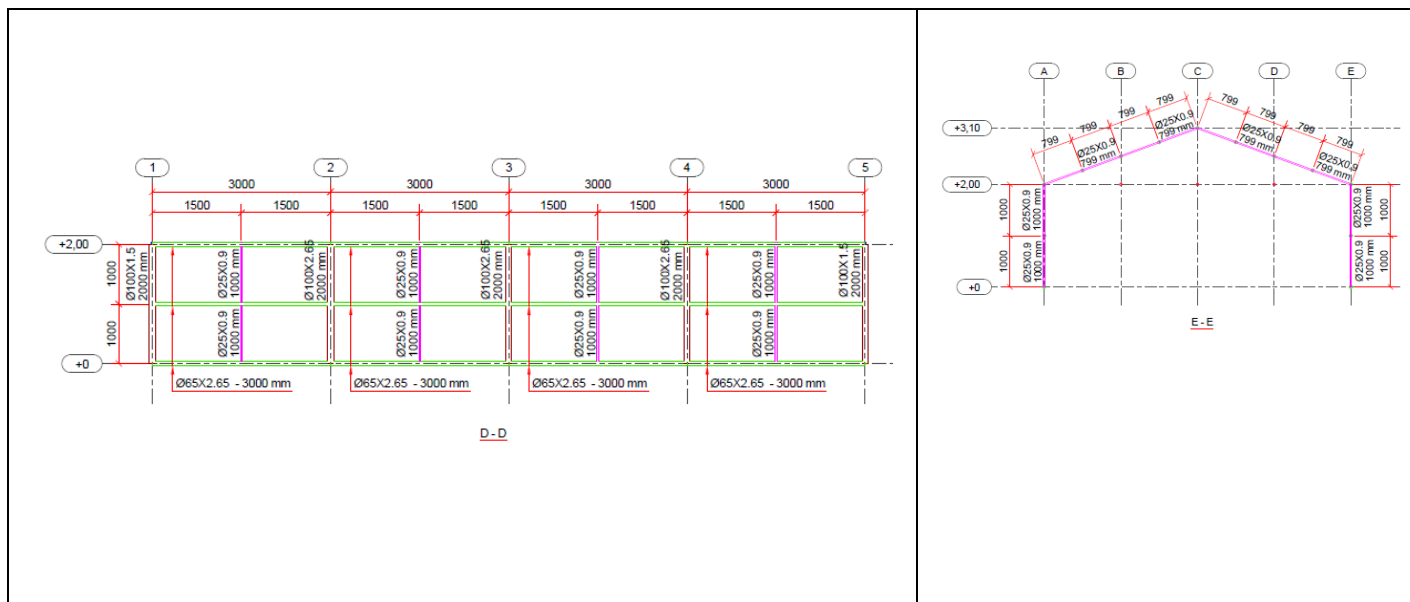
Fonte: Autores (2024).

Figura 14 – Planta de cobertura.



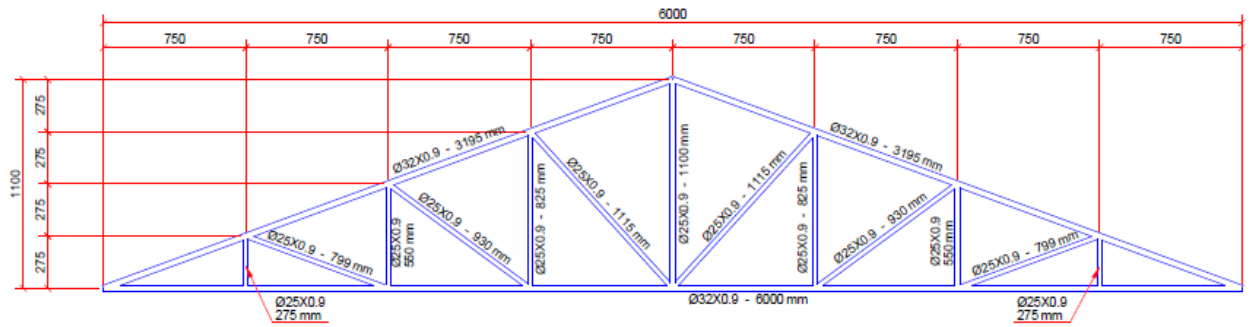
Fonte: Autores (2024).

Figura 15 – Vistas em cortes.



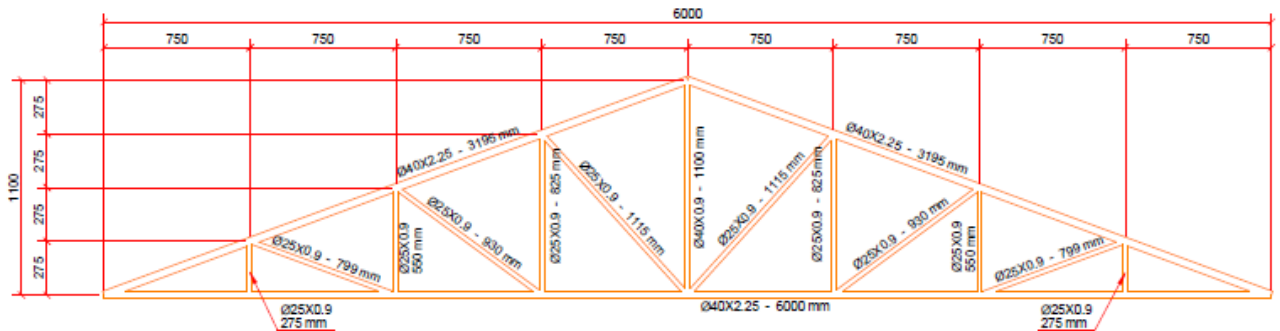
Fonte: Autores (2024).

Figura 16 – Detalhamento da treliça tipo 1.



Autores (2024).

Figura 17: Detalhamento da treliça de tipo 2.



Fonte: Autores (2024).