

ESTUDO ESTRUTURAL DE UMA PONTE FERROVIÁRIA NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN.

Ícaro Artur Nascimento Araújo¹, Christiane Mylena Tavares de Menezes Gameleira²

¹Graduando em Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. ²Doutora em Engenharia Civil

Resumo: Ponte férrea ou ponte ferroviária é toda estrutura que tem a finalidade de suportar cargas provenientes de trens em geral, esse tipo de ponte possui uma largura inferior a uma ponte rodoviária, no caso em questão a estrutura é feita totalmente em ferro fundido possuindo apenas os apoios em alvenaria de rocha calcária emersos no rio. Este tipo de ponte suporta cargas mais elevadas já que suporta o peso proveniente de diversos vagões carregados de uma locomotiva. Foi feito um estudo de caso identificando os principais elementos estruturais, cargas envolvidas, reações de apoio, dimensões aproximadas, assim como seu estado de conservação, e um breve levantamento histórico. A análise da estrutura da ponte foi realizada com base em visitas *in loco* e registros fotográficos. Com os dados obtidos, foi possível averiguar considerável incidência de manifestações patológicas necessitando de um serviço de recuperação. Considerando que a obra estudada é do século passado (1923), onde a engenharia não era tão avançada em relação a hoje, quando o homem ainda dispunha de um conhecimento muito restrito de ferramentas e técnicas de construção, pode-se considerar o estado geral da ponte como razoável.

Palavras-chave: ponte ferroviária; estudo de caso; análise estrutural; treliça; carregamento;

1. INTRODUÇÃO

Para o vocabulário a definição de ponte está relacionado a qualquer elemento que serve de comunicação entre dois pontos. Segundo Pfeil (1983) ponte para construção civil é uma obra de arte especial que tem o intuito de transpor um obstáculo que impossibilita a continuidade de uma via que geralmente é composta de água, e quando for o inverso é chamado de viaduto. Ponte ferroviária é uma estrutura em específico que tem a finalidade de transpor um certo obstáculo e suportar cargas provenientes de trens em geral.

Segundo Hibbeler (2013) uma treliça é uma estrutura composta por vários membros que são unidos em suas extremidades. Os membros têm nomenclaturas diferentes dependendo da posição e inclinação, sendo usado como termo técnico banzos para membros no sentido horizontal, subdividindo ainda em inferiores e superiores, montantes para membros no sentido vertical e diagonais para membros inclinados. O ponto de encontro dos membros é chamado de nó. É formada pela combinação de um ou mais triângulos, o qual é considerado dentre as figuras geométricas a mais estável. Por ser uma figura rígida, não se deforma, pois os vértices dos triângulos definem um único plano, dando estabilidade. Portanto é um sistema bastante eficaz, e pelo fato de ser mais estável possui maior resistência. Logo consegue vencer grandes vãos, tem menor peso estrutural em relação a outros tipos de estruturas, consequentemente tem menor peso sobre a fundação, e por conseguir vencer grandes vãos diminui a necessidade de muitos apoios.

Teoricamente todos os membros de uma treliça apresentam características de resistirem apenas a esforços normais (compressão ou tração) e todas as cargas aplicadas em uma estrutura treliçada são nos nós. Devem ser encontrados nos cálculos momentos fletores nulos para todos os elementos, mas isso só seria possível se os nós fossem articulados. Na realidade os nós são parafusados ou soldados e isso oferece uma certa rigidez, ou seja, acaba gerando um esforço de flexão nos membros que podem ser desconsiderados no dimensionamento da estrutura pois é de ordem de grandeza inferior em relação aos esforços normais submetidos. Na fase de dimensionamento do projeto é importante observar a questão da flambagem para membros que estão sob a ação de compressão, sendo estes com maior área de seção transversal do que membros com ação de tração.

Devido à falta de tradição, esse sistema é pouco empregado no Brasil, mas é bastante usado em países Europeus e Norte Americanos e ainda pode ser ampliado para outros casos. Este artigo expõe um estudo da antiga ponte ferroviária de Mossoró, um exemplo de ponte metálica treliçada. Através de um levantamento bibliográfico, incluindo visitas *in loco*, o objetivo é fazer um levantamento histórico, falar sobre sua execução, dificuldade de planejamento, projeto, montagem, ligações, identificar os principais esforços atuantes na estrutura e observar o estado da arte, já que se trata de uma obra com cerca de 100 anos de idade.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Elementos de pontes

De acordo com Pfeil (1983), a estrutura de uma ponte está dividida em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura. Tais elementos podem ser observados na figura 1.

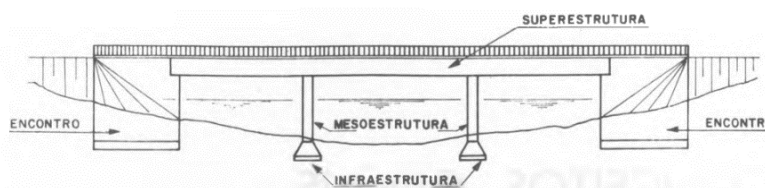


Figura 1. Principais elementos de pontes. (Pfeil/1983)

A superestrutura é o elemento principal da ponte, é onde será absorvido todas as cargas geradas pelo uso e passadas para os demais elementos da ponte. Está sujeita a esforços de flexão e é composta pelo tabuleiro, que em geral possui lajes e vigas.

A mesoestrutura tem a finalidade de transmitir as cargas oriundas da superestrutura para a infraestrutura, na maioria dos casos está sob a ação de compressão e na prática é representada pelos pilares propriamente dito.

Toda obra está apoiada sobre o solo, e de acordo com as características mecânicas do solo é necessário uma estrutura adequada a fim de não apresentar falhas. Essa estrutura é chamada de infraestrutura ou fundação e serve para receber os esforços provenientes da mesoestrutura e distribui-los ao solo.

Os encontros são estruturas de contenções localizados nas extremidades da ponte, a qual tem por função receber o empuxo dos aterros de acesso e evitar sua transmissão aos demais elementos da ponte. Basicamente serve para impedir que o aterro da via desabe, ou seja, o encontro funciona como um muro de arrimo (Pfeil, 1983).

2.2. Materiais

São várias as possibilidades de materiais para a construção de uma ponte. Podem ser de madeira, pedra, concreto, metais como ferro fundido, aço, bronze, latão entre outros. Porém tem que ser verificada a viabilidade do uso de cada material, e quando observado este critério os materiais são reduzidos ficando de mais fácil a escolha.

Com a revolução industrial no final do século XVII era usual na construção de pontes materiais metálicos principalmente o ferro fundido, porque além de sua acessibilidade era aliado a grandes resistências e muita durabilidade. As ligas de ferro fundido são formadas através da junção de ferro (Fe) e carbono (C) tendo o teor de carbono variando entre 2,11% e 6,67%. Com o passar dos anos surgiram novas ligas metálicas, como o aço por exemplo, deixando de lado o ferro fundido por possuir melhores características. O aço também é formado pela junção de ferro e carbono, o que diferencia as duas ligas é o teor de carbono possuindo o aço entre 0,008% e 2,11%. Por ter um menor teor de carbono se torna um material mais mole, dúctil (flexível), ou seja, permite a modelação, além de conseguir se deformar antes de fraturar, propriedade não oferecida pelo ferro fundido.

Com o avanço da ciência surgiram novos materiais e técnicas que permitiram que as estruturas ficassem cada vez mais leves, esbeltas e mais seguras. Como exemplo disso temos o uso do concreto armado e/ou protendido que combinam características de dois materiais diferentes, o concreto e o aço, que ao serem aliados formam um material complexo de melhor qualidade. Este é o grande foco das construções modernas pois reduz o tempo de obra, é um material relativamente barato, de fácil acesso, e possui no mercado fácil mão de obra qualificada para correta execução. Devido a esse avanço é possível hoje realizar pontes com distância entre pilares de 2000 metros, coisa que antigamente seria impossível.

2.3. Sistema construtivo

Se refere a forma de como é construída uma ponte. É escolhida de acordo com as limitações da obra, está associado ao custo, a segurança da execução e ao tempo disponível, ou seja, é a técnica construtiva mais adequada para uma obra. No século passado o conhecimento era limitado e a dificuldade de execução era maior quando comparada a hoje, então era comum o uso de estruturas metálicas já que era de fácil acesso, além de ser um material com o qual era possível alcançar grandes resistências e consequentemente vencer grandes vãos, evitando a construção de fundações submersas, principal obstáculo em construções sobre rios. Outra vantagem desse sistema é a agilidade, o tempo para a finalização da construção é menor, já que as peças já vêm prontas, geralmente no formato de chapas, e na obra era feito apenas a montagem através de parafusos e soldas, tornando um método eficiente.

Não é de hoje que o homem necessita de uma estrutura a fim de melhorar a vida em sociedade, há relatos de construções de pontes desde 4000 a.C. na Mesopotâmia e eram construídas com o conhecimento e recursos disponíveis na época. A construção de pontes sempre foi um desafio para a engenharia civil, principalmente

quando tinham que atravessar cursos de água necessitando de fundações submersas. Eram usadas técnicas rudimentares como o sistema de cofragem, que consiste em criar uma espécie de parede de areia provisória cercada por estacas de madeira cravadas no fundo do rio para que só assim seja drenada toda água e possa ser construído os pilares.

Hoje em dia esse método ainda é usado, mas é adaptado as novas tecnologias e materiais existentes. Um exemplo disso é o sistema de tubulões, onde um tubo metálico é cravado no solo, seu interior é escavado de forma mecanizada ou manual e depois é concretado de baixo para cima, como o concreto é um material mais denso do que a água acaba ocupando o fundo e expulsando a água para fora.

Existe um conceito que consiste em fabricar as peças que vão ser usadas na obra em outro local e ser montada na obra, como uma espécie de quebra cabeça, essa técnica é bastante eficaz pois reduz mais ainda o tempo para finalização da obra além de servir muito bem em locais onde é difícil o acesso ou que não haja disponibilidade de recursos, se refere o concreto pré-moldado e está presente na maior parte das obras atuais.

2.4. Carregamentos

De acordo com a norma vigente no país para a construção de pontes, a ABNT NBR 7187:2021 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – e a ABNT NBR 8681:2004 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento –, existem três tipos de cargas, sendo elas: permanentes, variáveis e excepcionais.

- **Cargas permanentes:** são todas as cargas que não sofrem variação e acontecem de forma constante, ou que apresentem um valor médio durante toda vida útil da obra. Podem ser geradas pelo peso próprio da estrutura, peso proveniente de equipamentos que estão sob a estrutura como trilhos e dormentes, empuxos de terra e de líquidos, forças de protensão, deformações provocadas por variações de temperatura e deslocamentos de apoios.
- **Cargas variáveis:** são todas ações que não estão presentes em todo momento da estrutura, ou seja, são variáveis, podem ser cargas móveis (frenagem, aceleração e o trem-tipo), cargas de vento, empuxo de terra provocado por cargas móveis, pressão da água em movimento, efeito dinâmico do movimento das águas e variações de temperatura.
- **Cargas excepcionais:** são aquelas ocorridas de forma anormal, como choques de objetos móveis, explosões, fenômenos naturais raros, como ventos ou enchentes, sismos, entre outras ações provenientes da natureza que não ocorram comumente.

2.5. Planejamento da obra

Para realizar qualquer obra é necessário um prévio estudo de alguns fatores para o sucesso do projeto tais como:

- **Necessidade:** se refere a finalidade da obra, para que vai servir, qual a frequência de uso e tempo de durabilidade.
- **Local:** é onde vai ser construído, que tipo de vegetação possui, se tem vias de acesso para transporte de materiais, equipamentos e pessoas para etapa da construção.
- **Recursos:** orçamento disponível, a disponibilidade de materiais, equipamentos e mão de obra qualificada.
- **Condições topográficas:** está relacionado as características do solo, como curvas de níveis e tipo de solo, esse fator é muito importante pois é com ele que será feito o projeto da fundação.
- **Condições ambientais:** cursos de água, cheias, vento, variações de temperatura, tremores e qualquer outro fenômeno que tenha origem natural.
- **Estética:** é o resultado final da obra, como ela vai ficar visível, este fator também é primordial pois de acordo com o resultado atinge-se a satisfação.

3. PONTE FERROVIÁRIA DE MOSSORÓ

A ponte ferroviária (figura 2) está localizada na cidade de Mossoró-RN com latitude 5°12'25"S e longitude 37°21'4"W, possuindo um comprimento total de aproximadamente 110 metros por 4,5 metros de largura, sendo dividida em três partes, duas menores em cada ponta e uma maior na parte central. A ponte possui como material base o ferro fundido, a sua superestrutura é composta por uma combinação de um sistema de treliça com uma parte central que se assemelha com uma grelha. Já a mesoestrutura e a infraestrutura é basicamente uma só, é formada pela junção de blocos de rocha calcária (bastante abundante na região) com cimento e está fixada no fundo do rio. Os encontros seguem o mesmo princípio.

3.1. História

A estrada de ferro de Mossoró começou com um sonho de um suíço chamado Johan Ulrich Graff que em 1875

foi concebido por Tomaz José Coelho de Almeida, Ministro da Agricultura, Comércio e Obras Públicas da Província do Rio Grande do Norte através do Decreto Provincial n.º 5.561, de 26 de fevereiro de 1874. Graff era um grande comerciante que chegou por volta de 1860, na época vila Mossoró, e abriu uma casa compradora e exportadora de produtos de origem agrícola, como algodão, açúcar, pau-brasil, cera-de-carnaúba etc. Sua empresa em pouco tempo, se tornou uma das maiores da província. Sua ideia era construir uma linha ferroviária que partiria do porto de Mossoró (Areia Branca) e chegaria até a província Pernambuco, facilitando o comércio com outras cidades do Norte até o rio São Francisco. Depois de conseguir o decreto imperial, Graff precisou levantar recursos financeiros para execução da obra, onde viajou em busca deles. Em uma de suas viagens, ao Pará, faleceu e somente em 1910, através de outra concessão estadual dado ao farmacêutico Jerônimo Rosado é iniciado a construção da ferrovia pela firma construtora Albuquerque & Cia, inicialmente ligando Mossoró a Areia Branca sendo inaugurada em 1915. A linha ferroviária continuou em expansão sendo inaugurada a ponte ferroviária de Mossoró em 1923, chegando a Souza-PB em 1951 e desativada na década de 90 com a chegada do novo meio de transporte, o rodoviário, considerado mais vantajoso.

É importante salientar que junto com a ideia de Graff do sistema ferroviário, ele também tinha a ideia de criar uma escola agrícola, funcionando em sua empresa mesmo, a fim de capacitar os agricultores, aumentando a produção, melhorando seus conhecimentos e possibilitando que esta produção fosse competitiva com os mercados, aumentando o desenvolvimento da região. Mais tarde essa ideia se tornou realidade com a construção da ESAM (Escola Superior de Agronomia de Mossoró), atual UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte).



Figura 2. Ponte ferroviária de Mossoró (Lindomarcos Faustino/2005).

3.2. Elementos integrantes da ponte

O trilho é um componente metálico responsável por receber as cargas do comboio e servir de superfície de rolamento, é um dos elementos principais da linha férrea. Sua parte superior é chamada de boleto, é onde receberá diretamente o impacto das rodas do trem, logo abaixo fica a alma que é o elemento responsável pela sua estabilidade. E a parte inferior responsável pelo apoio, se chama patim. É importante observar a existência de contra trilhos (figura 3) que servem basicamente para evitar o tombamento em caso de um descarrilhamento, ou seja, quando o comboio sai dos trilhos. O trilho usado nessa ponte foi o TR37 (figura 4), foi possível determinar isso através de medições no local e possui as seguintes características:

- a) peso teórico: 37,2 kg/m
- b) área (A): 47,39 cm²
- c) momento de inércia (Ix): 951,4 cm⁴
- d) módulo de resistência do boleto (w): 149,1 cm³



Figura 3. Contra trilho. (Autoria própria)

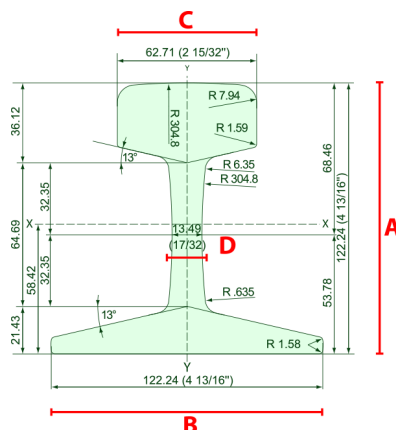


Figura 4. Trilho TR37. (Trilho's ferroviários LTDA)

A bitola é o espaçamento interno entre os boletos dos trilhos, sua dimensão é bastante importante pois será definida de acordo com o uso da ferrovia. Uma bitola maior tem mais estabilidade, ou seja, permite velocidades maiores, maior carga por vagão, porém perde no quesito curvas, já que bitolas menores conseguem realizar curvas com raios menores. A bitola da ponte possui 1 m de largura.

Outro elemento primordial para o funcionamento da ponte são os dormentes, que são peças responsáveis por fixar os trilhos evitando assim que eles se movimentem durante a passagem do trem. Os dormentes dessa ponte são de madeira possuindo dimensões de 0,15 m de altura, 0,25 m de largura e 2 m de comprimento.

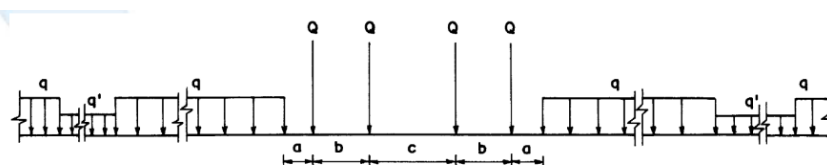
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para permitir uma melhor visualização do comportamento estrutural foi feita uma simplificação, onde foi desconsiderado as cargas variáveis e o peso próprio da estrutura, e foi considerado apenas as cargas móveis, ou seja, aquelas provenientes do peso do comboio, isso por ser o carregamento responsável pelos maiores esforços na estrutura, mas que em um projeto real tem que ser considerado todas as cargas. O estudo foi aplicado somente para a parte central, já que é a que tem maior vão livre e também pode ser aplicado para as partes menores, pois o conceito é o mesmo.

De acordo com a ABNT NBR 7189:1985 - Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias – que está cancelada e sem substituição – elege os trens-tipo brasileiros ferroviários (TB), que é uma representação da carga móvel atuando no sentido vertical sob a estrutura. A norma também define as classes do trem tipo brasileiro e é definido no projeto de acordo com seu uso, pode-se ser classificada como:

- TB-360: para ferrovias sujeitas a transporte de minério de ferro ou outros carregamentos equivalentes;
- TB-270: para ferrovias sujeitas a transporte de carga geral;
- TB-240: para ser adotado somente na verificação de estabilidade e projeto de reforço de obras existentes;
- TB-170: para vias sujeitas exclusivamente ao transporte de passageiros em regiões metropolitanas ou suburbanas.

A mesma norma ainda define as características geométricas e a carga dos trem-tipo, e podem ser observadas na figura 5.



Onde:

Q = carga por eixo

Q e q' = cargas distribuídas na via, simulando, respectivamente, vagões carregados e descarregados (ver Tabela 1).

Tabela 1 - Cargas dos trens-tipo

TB	Q (kN)	Q (kN/m)	q' (kN/m)	a (m)	b (m)	c (m)
360	360	120	20	1,00	2,00	2,00
270	270	90	15	1,00	2,00	2,00
240	240	80	15	1,00	2,00	2,00
170	170	25	15	11,00	2,50	5,00

Figura 5. Características dos trem-tipo. (NBR 7189:1985)

De acordo com o levantamento histórico realizado a classe que melhor atende ao projeto é a TB-270 já que era usada para o transporte de sal e insumos agrícolas, além de passageiros.

As restrições adotadas para análise estrutural da treliça foram apoios duplos na origem do plano X (figura 6) e apoios simples na outra extremidade do plano no ponto $X = 41,6$ metros (figura 7).



Figura 6. Apoio duplo tipo pino. (Autoria própria)



Figura 7. Apoio simples tipo rolete. (Autoria própria)

A estrutura é composta por duas longarinas centrais com 41,6 metros de comprimento e são responsáveis por receber toda a carga oriunda da carga móvel, por sua vez este esforço é transmitido para as transversinas que contabilizam onze com 4,5 metros. Por fim a carga é transmitida para os nós das duas treliças laterais. O esquema da estrutura pode ser observado nas figuras 8 e 9.

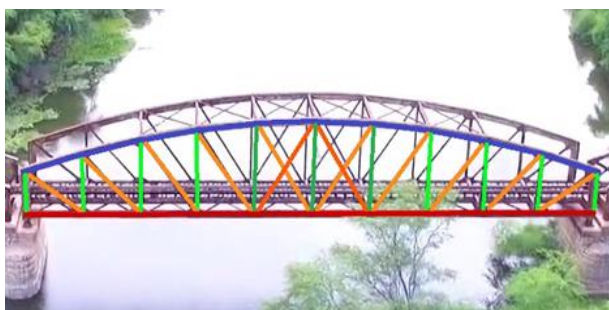


Figura 8. Esquema da parte lateral. (Autoria própria)



Figura 9. Esquema da parte central. (Autoria própria)

Os contraventos são elementos estruturais de fundamental importância, evitam inclinações laterais, logo garantem maior rigidez. Na ponte estão presentes tanto na parte superior como inferior, além disso é interessante observar que foram posicionados em formato de “X” ligando os nós e formando triângulos, que é o elemento básico de uma treliça, garantindo maior estabilidade.

4.1. Análise estrutural

Em qualquer tipo de estrutura a carga percorre um caminho e sempre é direcionada ao solo. Um elemento estrutural recebe a carga e distribui para outro elemento, onde o término desse carregamento sempre será o solo. Através do programa Ftool foi feita uma análise da estrutura que foi dividida em três partes. Primeiro, foi analisada as longarinas (cor azul claro figura 9) já que é a primeira parte da estrutura a receber os carregamentos em função de onde estar apoiados os dormentes e trilhos. Para se tornar um problema isostático e permitir a análise pelo programa foi considerado como sendo uma viga bi-apoiada dividida em 20 longarinas independentes, onde as mesmas estão sujeitas ao mesmo carregamento, com espaçamento entre si de 1,06 metros e um comprimento de 4,16 metros. A norma ABNT NBR 7189:1985 estabelece um carregamento de 270 KN por eixo com espaçamento de 2 metros, como são duas longarinas esse carregamento é dividido por dois resultando em 135 KN por longarina. Já que as longarinas foram analisadas isoladamente foi idealizado um carregamento o qual julgou-se ser o pior caso, onde atingiu-se os maiores índices de esforço cortante e momento fletor e que simula um vagão passando sob a longarina. Esse carregamento assim como os diagramas de esforços pode ser visto na sequência das figuras 10, 11 e 12.

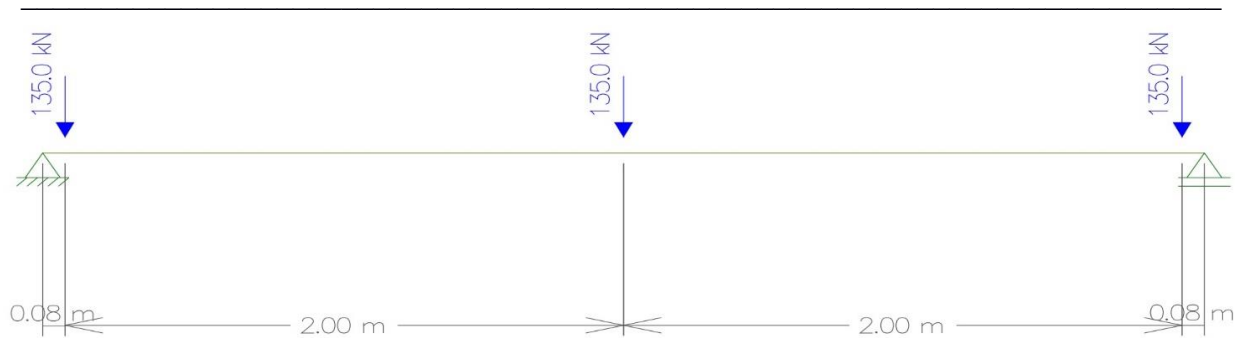


Figura 10. Carregamento na longarina. (Autoria própria)

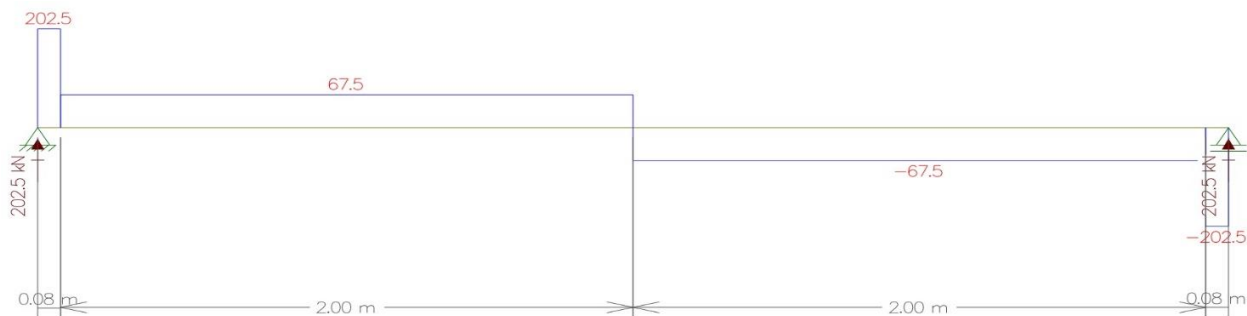


Figura 11. Diagrama de esforço cortante com valor das reações de apoio na longarina. (Autoria própria)

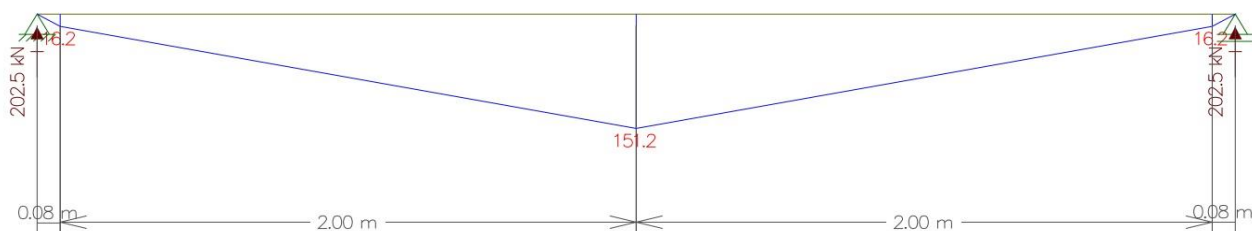


Figura 12. Diagrama de momento fletor na longarina. (Autoria própria)

As longarinas estão sujeitas apenas a esforços de flexão e cortante, possuindo valores iguais para ambas as reações de apoio com valor de 202,5 kN que será usado como cargas pontuais sob as transversinas (cor amarela figura 7). É importante salientar que cada transversina, exceto as das extremidades, está sujeita a duas cargas pontuais de duas vezes o valor da reação de apoio da longarina, isso acontece por estar recebendo cargas das longarinas de ambos os lados. A análise das transversinas pode ser vista nas figuras 13, 14 e 15.

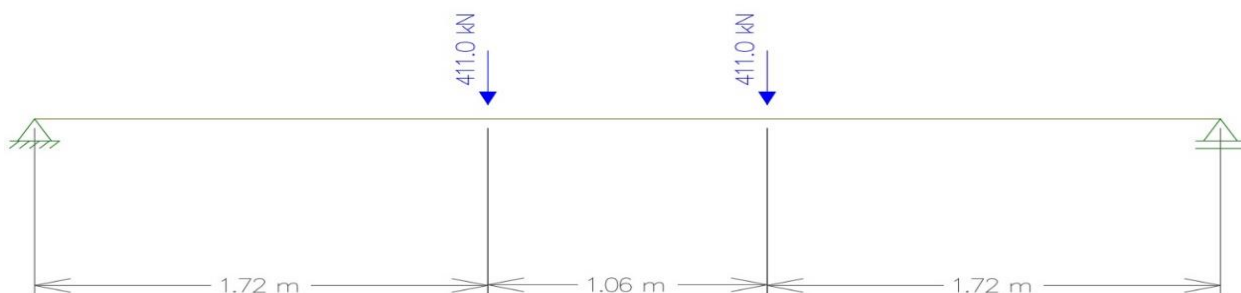


Figura 13. Carregamento na transversina. (Autoria própria)

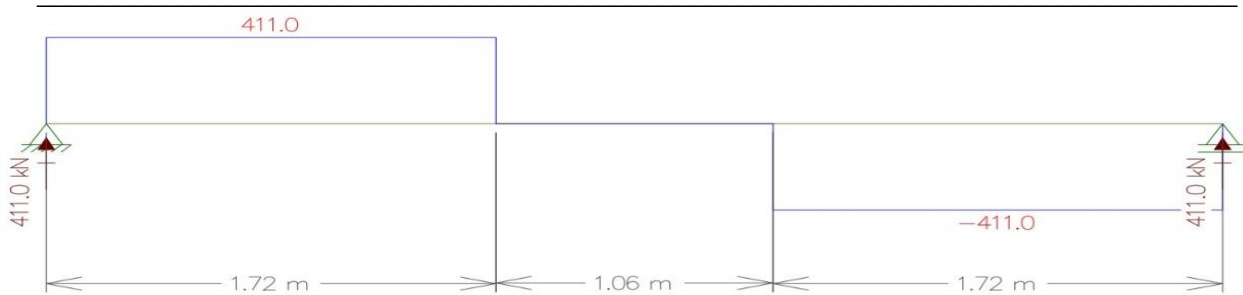


Figura 14. Diagrama de esforço cortante com valor das reações de apoio na transversina. (Autoria própria)

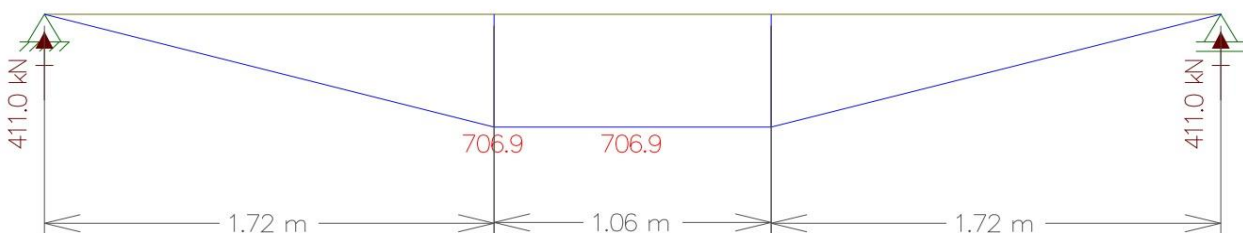


Figura 15. Diagrama de momento fletor na transversina. (Autoria própria)

Como já mencionado as longarinas e transversinas estão sujeitas a esforços de flexão e devido a essa peculiaridade é importante ressaltar o formato e robustez do perfil usado no seu dimensionamento. É semelhante a peças de perfil I comerciais, pois são formadas pela união de chapas e cantoneiras. Este tipo de perfil, devido a sua geometria, garante um grande valor de momento de inércia, que está relacionado a dificuldade de fazê-lo girar ou variar a sua rotação, logo quanto maior sua grandeza, mais difícil é do corpo se deformar quando aplicado um esforço de flexão.

O mesmo princípio aplicado nas estruturas anteriores pode ser usado para análise das treliças laterais, onde o ponto de encontro de ambas as estruturas são os nós inferiores da treliça, ou seja, as reações das transversinas serão cargas pontuais em cada nó da treliça e a análise pode ser visto nas figuras 16 e 17 assim como uma representação exagerada do comportamento da treliça com este carregamento na figura 18.

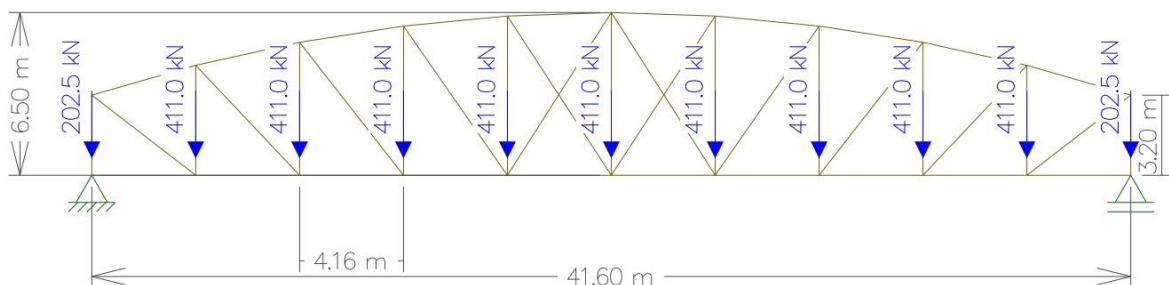


Figura 16. Carregamento na treliça lateral. (Autoria própria)

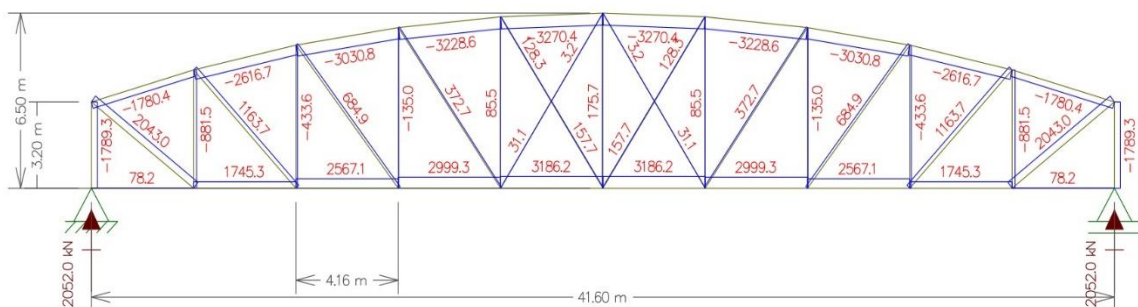


Figura 17. Diagrama de força axial na treliça lateral. (Autoria própria)

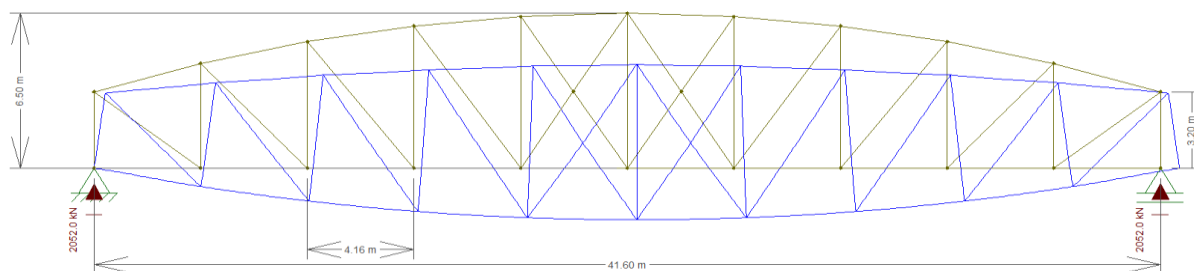


Figura 18. Deformações na treliça lateral. (Autoria própria)

As treliças laterais são formadas por outros tipos de perfis, como chapas unidas em formato de T, ou cantoneiras, menos robustos em virtude das características geométricas do conjunto e que teoricamente estão sujeitas apenas a esforços de tração e compressão como já mencionado anteriormente. Na tabela 1 é apresentada a distribuição de esforços por elemento da treliça lateral. Na tabela 2 é possível identificar os valores máximos de cada tipo de esforço presente nas longarinas e transversinas.

Tabela 1. Distribuição de esforços por elemento da treliça lateral. (Autoria própria)

Elemento	Esforço	Tração	Compressão
Banzos superiores (azul)			X
Banzos inferiores (vermelho)		X	
Montantes centrais (verde escuro)		X	
Montantes laterais (verde claro)			X
Diagonais centrais (laranja escuro)			X
Diagonais laterais (laranja claro)		X	

Tabela 2. Valores dos esforços máximos das longarinas e transversinas. (Autoria própria)

Elemento	Esforço	Cortante máximo (KN)	Momento fletor máximo (KN*m)
Longarinas		202,5	151,2
Transversinas		411	706,9

É importante observar que a depender da posição geométrica das diagonais o tipo de esforço muda, mas sempre sendo tração ou compressão. As diagonais da cor laranja claro (figura 8), se fosse invertida a posição, sendo ligadas aos outros nós seu esforço ia ser de compressão e isso pode ser averiguado pelas diagonais da cor laranja escuro (figura 8), o mesmo se aplica para elas.

4.2. Construções de pontes atualmente

Na construção dessa ponte foi usada basicamente chapas. Devido à escassez de tecnologias da época e do local, eram trazidas e sua montagem era feita no local através do processo de rebiteagem a quente, onde um rebite é aquecido em um forno afim de ficar mais dútil e depois é instalado pelo processo de prensagem manual fazendo a união das chapas. Esse tipo de ligação em estruturas metálicas é bastante eficaz suportando bem esforços de cisalhamento principais atuantes. Através da combinação de chapas é possível formar elementos mais complexos, em outras palavras são os tipos de perfis, como o tipo U, tipo I, tipo C entre outros. Na estrutura estão presentes diversos perfis e a união segue o mesmo princípio de rebiteagem. Hoje essa técnica é pouco empregada, já que existem no mercado elementos prontos para uso, unidos de forma industrial, sem emendas e mais seguros, além de outras formas de ligação em estruturas metálicas como parafusos, soldas e rebiteagem a frio, além de materiais mais vantajosos como concreto armado e/ou protendido.

4.3. Estado da arte

Perante o observado em campo constata-se notável incidência de manifestações patológicas na estrutura como um todo necessitando de serviço de recuperação. Todavia, em virtude de ser uma obra construída no século passado (1923), esta poderia estar bem mais deteriorada visto que nunca passou por qualquer tipo de manutenção. Na figura 18 é perceptível a existência de corrosão em toda ela, com avançado grau de deterioração em partes mais baixas onde é comum a acumulação de água. Mesmo diante disso não se percebe qualquer índice de instabilidade.



Figura 18. Oxidação com alto nível de desgaste. (Autoria própria)

5. CONCLUSÕES

A engenharia civil é uma área que investe muito em tecnologias e isso ocorre devido aos grandes desafios que surgem e precisam ser superados. Todas as técnicas existentes hoje, embora simples um dia, já foram a solução para algum problema. A ciência evolui com os erros e acertos de situações, o estudo de casos já existentes permite o aprofundamento do conteúdo, através disso é possível fazer melhorias e vencer novos desafios. O avanço das tecnologias proporcionou a engenharia civil diversos benefícios, através do uso de programas computacionais é possível realizar um estudo mais eficiente, rápido e tudo em pouco tempo.

A partir da análise da estrutura é possível observar claramente os princípios da mecânica das estruturas, onde a prática fortalece a teoria. Nota-se que o uso de treliças é vantajoso, pois como estão sujeitas apenas esforços axiais não necessitam de grandes dimensões em relação as longarinas e transversinas as quais estão sob esforços de flexão. Os valores encontrados nos diagramas de esforço cortante e momento fletor, assim como no diagrama de força axial da treliça, são usados para dimensionamento do perfil que será utilizado em obra, que a depender do material varia suas dimensões já que cada material possui propriedades mecânicas diferentes. Os valores das reações de apoio junto com o estudo do solo, são usados para o projeto da fundação e encontros.

Sabendo disso pode-se concluir que esse tipo de sistema oferece uma menor economia de material, menor peso estrutural se bem projetado em relação a outros tipos de materiais, menor tempo de execução de obra, maior segurança devido as propriedades dos metais possuir maior flexibilidade podendo se deformar antes de falhar e que dependendo dos recursos disponíveis sua viabilidade é alcançada. Entretanto, como o presente trabalho tem o objetivo de fornecer uma idealização da estrutura da ponte, tendo em vista a dificuldade da obtenção de dados, para uma análise real, deve-se ser realizada de forma responsável através de um profissional qualificado e considerando todos os aspectos envolvidos.

Ressalta-se a importância da ponte estudada para a cidade de Mossoró, é um marco histórico onde simboliza o início do desenvolvimento da cidade, com sua construção foi possível realizar um melhor deslocamento de mercadorias e pessoas, fortalecendo a economia e atraindo investidores para a região. Por esse motivo necessita de um devido reconhecimento por parte dos governantes, é uma obra de arte que está sob o rio Mossoró, possui uma vista incrível e oferta uma boa proposta de ponto turístico, bastando apenas um serviço de restauração.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. 2ª ed. Rio de Janeiro: 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7189**: Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias. 1ª ed. Rio de Janeiro: 1985. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. 1ª ed. Rio de Janeiro: 2004.

GRAFF, J.U. **Estrada de ferro de Mossoró em direção ao rio são Francisco**. 6ª ed. Editora: coleção mossoroense. Mossoró-RN, 1991.

GUERRA, F. A seca de 1915. In: ROSADO, Vingt-Un. ROSADO, América (orgs.). **11º Livro das Secas**. Natal: coleção mossoroense Vol. CCCV. Editora Universitária UFRN, 1985.

HIBBELER, R.C. **Análise das estruturas**. 8ª ed. Editora: Pearson. São Paulo-SP, 2013.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TRANSPORTES E INFRAESTRUTURA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **História das pontes**. Disponível em <<https://itti.org.br/historia-das-pontes/>> Acesso em: 17 de Agosto de 2022.

MORAIS, I.L. **Levantamento das condições gerais das pontes na RN 118**: trecho entre Caicó-RN e Jucurutu-RN. Angicos-RN, 2019. Disponível em <<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6160>> Acesso em: 23 de julho de 2022.

OESTE COMERCIAL DE FERRO E AÇO. **Qual a diferença entre aço e ferro fundido?**. Disponível em <<https://oestefer.com.br/em-destaque/qual-a-diferen-a-entre-a-o-e-ferro-fundido->> Acesso em: 11 de Julho de 2022.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**: elementos de projeto, solicitações, dimensionamento. 1ª ed. Editora: livros técnicos e científicos editora S.A. Rio de Janeiro-RJ, 1983.

TRILHOS FERRÓVIARIOS LTDA. **Trilho padrão TR**. Disponível em <<https://www.trilhos.com.br/trilho-padroao-tr.html>> Acesso em: 4 de Setembro de 2022.