

O CONCURSO PONTES DE PAPEL: PROMOVEDO APRENDIZAGEM ATRAVÉS DE DESAFIOS PRÁTICOS

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4254

Marcos Paulo Santos da Silva - marcos.silva@engenharia.ufjf.br
Universidade Federal de Juiz de Fora

Iury Carvalho Fagundes - iury.fagundes@engenharia.ufjf.br
Universidade Federal de Juiz de Fora

Marianna Dias Presoti Vicentini - Marianna.dias@engenharia.ufjf.br
Universidade Federal de Juiz de Fora

Julia Righi de Almeida - julia.righi@engenharia.ufjf.br
Universidade Federal de Juiz de Fora

Gustavo Leone Marasco Alves - gustavo.leone@engenharia.ufjf.br
Universidade Federal de Juiz de Fora

Resumo: *O concurso Pontes de Papel se tornou uma atividade importante no meio acadêmico dos cursos de engenharia em todo o mundo. O desafio consiste em projetar, construir e testar pontes feitas apenas de papel e cola para avaliar a capacidade dos estudantes de aplicar conceitos teóricos a um projeto prático, promover uma experiência de aprendizado divertida e estimular o desenvolvimento de habilidades socioemocionais como trabalho em equipe, criatividade e resolução de problemas. O PET Civil UFJF, que organiza a competição na UFJF desde 2007, é um exemplo bem-sucedido de organização desse tipo de competição. O programa PET tem como objetivo fornecer uma formação acadêmica de alta qualidade e ampla a todos os alunos, e essa filosofia está por trás da motivação do grupo e fomenta atividades que estimulam o processo de aprendizado por meio de competições. O presente trabalho descreve as etapas da XVIII Olimpíada de Engenharia Civil: Concurso Pontes de Papel, contextualizando sua prospecção, preparação, organização, execução e, por fim, apresentando uma consideração sobre o impacto da competição na formação dos participantes.*

Palavras-chave: *competição, aprendizagem ativa, educação em engenharia, estruturas*

O CONCURSO PONTES DE PAPEL: PROMOVENDO APRENDIZAGEM POR MEIO DE DESAFIOS PRÁTICOS

1 INTRODUÇÃO

O Concurso Pontes de Papel é uma atividade que vem ganhando espaço no âmbito acadêmico dos cursos de Engenharia ao redor do mundo. Esse desafio consiste em conceber, projetar, construir e testar pontes utilizando apenas papel e cola, com o objetivo de avaliar a capacidade dos estudantes de aplicar conceitos teóricos em um projeto prático e, além disso, promover à graduação uma experiência lúdica de aprendizado (HINES; BILLINGTON, 1998).

Um exemplo de organização bem-sucedida desse tipo de competição é a realizada pelo Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora (PET Civil UFJF), que tem organizado o Concurso Pontes de Papel desde 2007.

O Programa de Educação Tutorial (PET) é regulamentado pela Lei Nº 11.180 de 2005 e pelas portarias Nº 3.385 de 2005 e Nº 1.632 de 2006 do Ministério da Educação e seu objetivo é proporcionar uma formação acadêmica de boa qualidade e aspecto amplo a todos os estudantes. Nesse contexto, a atuação do PET Civil UFJF é voltada à melhoria da graduação e busca pela formação de profissionais devidamente capacitados em aspectos técnicos e éticos. Essa filosofia fundamenta a motivação do grupo e fomenta a realização de atividades onde estimula-se o processo de aprendizagem através de competições.

Este é o caso do Concurso Pontes de Papel, que é uma competição lotada dentro da atividade Olimpíada de Engenharia Civil, reproduzida anualmente pelo PET Civil UFJF, sempre buscando inovar sua temática e trazer novos desafios. Além do Pontes de Papel, a Olimpíada já trouxe diversos outros moldes, como Pontes de Macarrão, Pontes de Palito de Picolé, Taludes, Hackathon e Pontes Online. Essa iniciativa se tornou uma tradição entre os estudantes da instituição e é vista como uma oportunidade única de desenvolvimento acadêmico e pessoal.

A competição também estimula o desenvolvimento de habilidades socioemocionais, como a capacidade de trabalhar em equipe, a criatividade e a resolução de problemas. Tal característica, faz do concurso um grande aliado da implementação da Aprendizagem Baseada em Problemas (do inglês: Problem-Based Learning - PBL), que é uma metodologia ativa de ensino-aprendizagem onde a engrenagem fundamental do processo de consolidação dos conceitos, teorias e o desenvolvimento das habilidades e atitudes é justamente o fomento de situações-problema (TEIXEIRA et al., 2018).

A realização da XVIII Olimpíada de Engenharia Civil no ano de 2022, foi possível graças à amenização do quadro pandêmico do Covid-19, somada à motivação e determinação dos membros do grupo em contornar os obstáculos impostos pela pandemia, principalmente, a inexperiência dos petianos na realização de eventos presenciais.

Na edição do concurso em questão, toda a metodologia foi adaptada do livro *Designing and Building File-Folder Bridges: A Problem-Based Introduction to Engineering* (RESSLER, 2001), de edições anteriores do concurso e do acervo próprio do PET Civil UFJF. O escopo geral do concurso contemplou as etapas de ensaio do papel cartão, elaboração do sistema de pontuação, confecção de materiais de apoio, capacitação do grupo organizador e, por fim, organização e execução do evento.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é abordar as diversas etapas da XVIII Olimpíada de Engenharia Civil: Concurso Pontes de Papel. Serão apresentados detalhes sobre a

prospecção, preparação, organização e execução do evento. Ao fim, são apresentadas considerações sobre o impacto da competição na formação dos participantes.

2 METODOLOGIA

Definida a temática da olimpíada, a comissão organizadora, designada pelo grupo para prospectar e projetar o concurso, elaborou o levantamento de materiais a serem utilizados para confecção das pontes e, para que o concurso obtivesse sucesso, os petianos utilizaram de várias estratégias direcionadas ao perfeito alinhamento do PET Civil UFJF com o evento. O grupo buscou a melhor forma de orientar as equipes competidoras e de desenvolvimento e aperfeiçoamento das práticas técnicas e organizacionais da competição.

Para que os participantes estivessem alinhados com o objetivo do concurso, foi disponibilizado material extra confeccionado pelos próprios petianos. O material, abordou as instruções gerais, o roteiro de concepção e projeto das pontes e dicas para realização do corte e montagem das peças. Além do material, todo conteúdo foi passado resumidamente aos participantes em uma reunião de alinhamento, com o intuito de sanar possíveis dúvidas das equipes.

2.1 Ensaios com os materiais

Como o objetivo é propiciar o dimensionamento bem sucedido dos elementos da estrutura por parte dos participantes, é necessário o fornecimento dos parâmetros de resistência da principal matéria prima das pontes: o papel cartão. Para isso, a comissão confeccionou 95 corpos de prova de papel cartão, sendo 75 barras retangulares para compressão, confeccionadas em 15 perfis distintos; e 20 barras chatas para tração, confeccionadas em 4 larguras diferentes. As medidas dos corpos de prova são apresentadas na Tabela 1.

O papel cartão utilizado é do tipo fosco da cor azul royal, comercializado em folhas de 47x66 cm e gramatura 200, com 0,022 cm de espessura (medida previamente com o auxílio de um paquímetro).

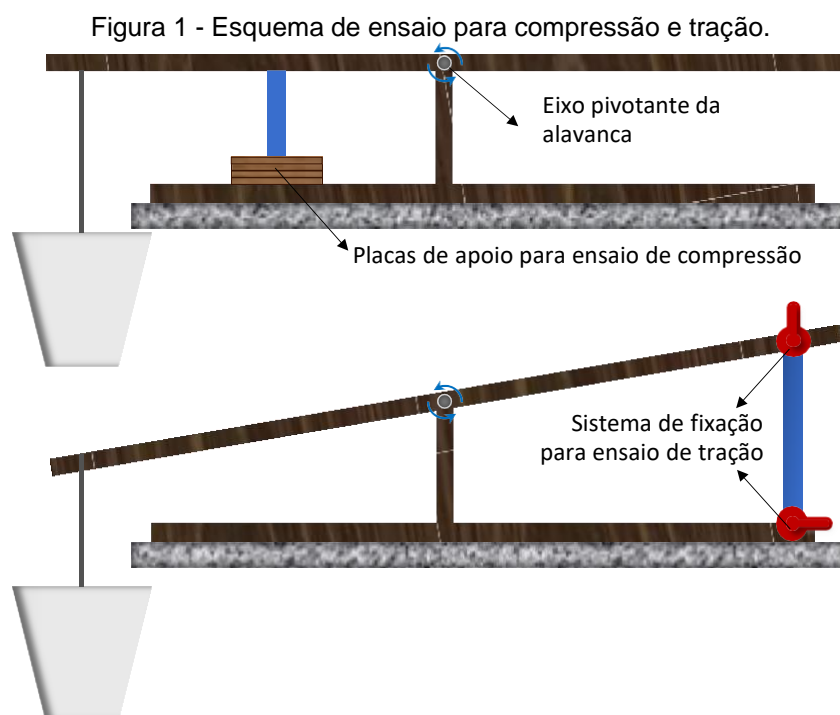
A Metodologia de ensaio se baseia no conceito de alavanca, onde as forças de interesse que agem sobre os corpos de prova, são determinadas a partir do equilíbrio de forças e momentos em relação a um eixo pivotante. A aplicação de carga é feita através de um balde que, conforme é preenchido com água, gera uma força para baixo referente ao peso total do balde mais a água que foi colocada nele. No momento em que o corpo de prova rompe, a alimentação é cessada e o conjunto é pesado. O esquema de montagem dos ensaios à tração e à compressão é melhor ilustrado na Figura 1.

Tabela 1 - Dimensões dos corpos de prova.

| Tipo de CP | Dimensões | Altura |
|------------|------------|--------|
| T1 | 5 mm | 20 cm |
| T2 | 10 mm | 20 cm |
| T3 | 15 mm | 20 cm |
| T4 | 20 mm | 20 cm |
| C1 | 10 x 10 mm | 5 cm |
| C2 | 10 x 10 mm | 10 cm |
| C3 | 10 x 10 mm | 15 cm |
| C4 | 15 x 15 mm | 5 cm |
| C5 | 15 x 15 mm | 10 cm |
| C6 | 15 x 15 mm | 15 cm |
| C7 | 20 x 20 mm | 5 cm |
| C8 | 20 x 20 mm | 10 cm |
| C9 | 20 x 20 mm | 15 cm |
| C10 | 15 x 20 mm | 5 cm |
| C11 | 15 x 20 mm | 10 cm |
| C12 | 15 x 20 mm | 15 cm |
| C13 | 10 x 15 mm | 5 cm |
| C14 | 10 x 15 mm | 10 cm |
| C15 | 10 x 15 mm | 15 cm |

OBS: T - Tração, C - Compressão.

Fonte: Autoria Própria.



Fonte: Autoria Própria.

Para maior precisão do ensaio, o eixo da alavanca foi pesado e sua carga foi considerada uniformemente distribuída, todas as medidas e distâncias foram aferidas e o peso do conjunto de fixação foi determinado. O equilíbrio do sistema se satisfaz pelas relações das equações 1 e 2.

$$F_{tração}[N] = 31,9282 + 22,1571 \cdot M_{água}[kg] \quad (1)$$

$$F_{compressão}[N] = 23,9587 + 16,0639 \cdot M_{água}[kg] \quad (2)$$

Onde $F_{tração}$ representa a força em newtons suportada pelos corpos de prova à tração no momento da ruptura; $F_{compressão}$ representa a força em newtons suportada pelos corpos de prova à compressão no momento da ruptura e $M_{água}$ representa a massa de água em quilogramas dentro do balde no momento da ruptura.

Vale ressaltar que o desenvolvimento das equações acima foi feito com base em todas as particularidades do ensaio, ou seja, das distâncias dos pontos de aplicação de carga em relação ao pivô da alavanca e dos pesos do balde, do instrumento de fixação e dos demais elementos que influem sobre a carga determinada. Assim, para reprodução em outros contextos, é necessária a reavaliação de todos estes parâmetros e aplicação das leis físicas pertinentes ao problema.

O resultado principal da bateria de ensaios é um valor médio de tensão para a ruptura à tração, outro para a compressão e um gráfico de dispersão com os pontos coletados a ser disponibilizado para os competidores. A tensão de ruptura é calculada pela razão entre a força de ruptura e a área do corpo de prova.

O resultado principal da bateria de ensaios é um valor médio de tensão para a ruptura à tração, outro para a compressão e um gráfico de dispersão com os pontos coletados a ser disponibilizado para os competidores. A tensão de ruptura é calculada pela razão entre a força de ruptura e a área do corpo de prova.

2.2 O sistema de avaliação

O processo de avaliação das pontes criadas para o concurso envolveu a definição de critérios pela comissão organizadora, que abrangiam tanto aspectos estéticos quanto técnicos. Ao todo, foram estabelecidos quatro quesitos principais: eficiência estrutural, exatidão do projeto, estética e justificativa.

Para avaliar a eficiência estrutural, foram considerados dois fatores, o peso próprio da ponte e a carga de ruptura suportada pela estrutura, contabilizada pelo peso do balde, dos acessórios de suspensão da ponte e da água transferida para o balde. A partir disso, é calculado o coeficiente de eficiência — razão entre a carga de ruptura e o peso próprio (ambos em newtons). O maior coeficiente obtido resulta na pontuação máxima para a categoria, equivalente a 40 de 100 pontos. As demais notas são calculadas por interpolação linear.

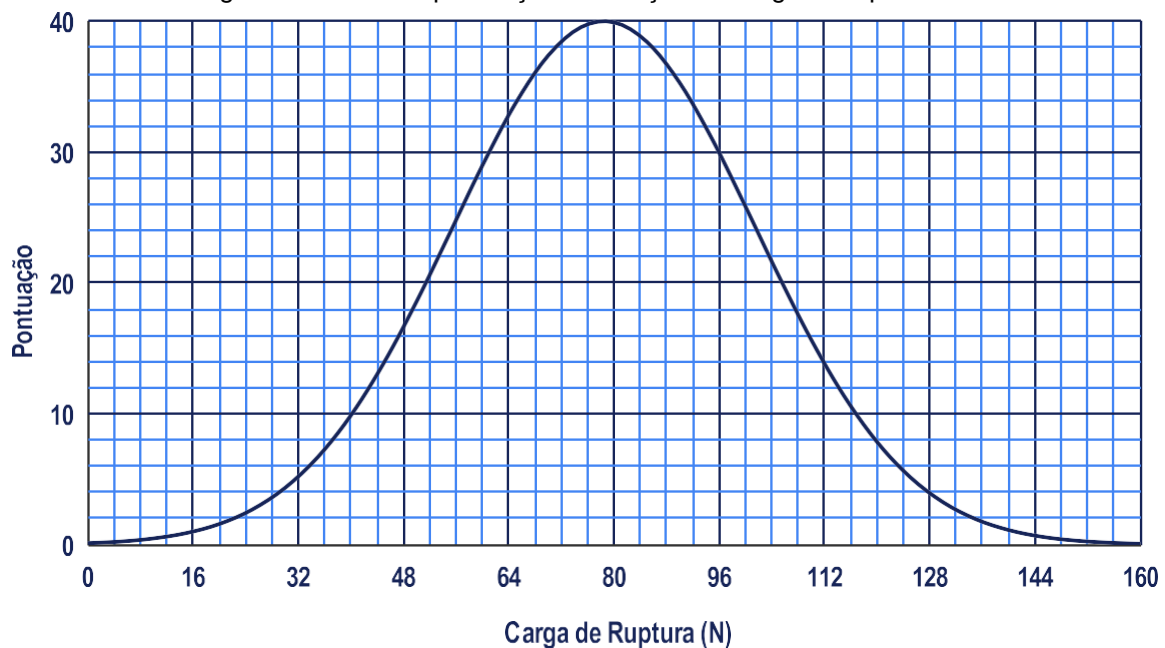
Na categoria exatidão do projeto, o objetivo é avaliar a precisão das equipes no dimensionamento das pontes. Por regulamento, as pontes deveriam ser dimensionadas para suportar um carregamento de 8 quilogramas, então rupturas a cargas maiores ou menores sofreriam penalização. O cálculo das notas para esse quesito, é feito através de

uma função de Gauss (Equação 3) com os parâmetros ajustados para a pontuação máxima (40 de 100 pontos) ser alcançada à carga de ruptura de 78,48 N (8 kg).

$$P(x) = P \cdot e^{(-0,5 \cdot \left(\frac{x-u}{s}\right)^2)} \quad (3)$$

Onde $p(x)$ é a pontuação da ponte; P é a pontuação máxima do critério ($P = 40$); x é a carga de ruptura da ponte; u é a carga de projeto ($u = 78,48$ N) e s é um fator de forma da função ($s = 23$). Para melhor visualização, a curva de pontuação em função da capacidade de carga da estrutura é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Curva de pontuação em função da carga de ruptura.



Fonte: Autoria Própria.

A justificativa da ruptura foi mais uma das categorias de pontuação, com o valor máximo de 15 de 100 pontos. A nota foi avaliada por uma banca, composta de quatro docentes lotados nos departamentos de Estrutura e de Mecânica Aplicada Computacional da UFJF. Os critérios se baseiam na coesão da justificativa elaborada por cada equipe em relação ao motivo do rompimento de sua ponte.

Por último, no quesito estética, foram realizados dois tipos de votação: uma popular e a outra pela banca avaliadora, ambas com o mesmo peso. A nota, com valor máximo de 5 de 100 pontos, é calculada pela Equação 4.

$$N_T = 5 \cdot \left(0,5 \cdot \frac{V_B}{V_{Bm}} + 0,5 \cdot \frac{V_P}{V_{Pm}}\right) \quad (4)$$

Onde V_B é o número de votos que a ponte angariou da banca; V_P é o número de votos que a ponte angariou do público; V_{Bm} é o número de votos da banca obtidos pela ponte mais votada pela mesma e V_{Pm} é o número de votos do público obtidos pela ponte mais votada pelo mesmo.

2.3 Capacitação do grupo organizador

Devido à pandemia do Covid-19 e às medidas de isolamento social necessárias para sua contenção, o Concurso Pontes de Papel ficou suspenso por um período de 3 anos. Com a renovação do grupo organizador, nenhum dos atuais membros havia participado do concurso anteriormente, o que motivou a realização de um evento teste interno para avaliar o modelo proposto e gerar melhorias para o dia do evento principal, bem como munir os petianos em relação aos aspectos técnicos demandados pelo concurso.

Durante o evento teste, o grupo foi dividido em equipes e tiveram que passar por todas as etapas previstas para o concurso, incluindo projeto, cálculo, montagem, ruptura e justificativa do rompimento. Para simular o evento de ruptura, três professoras do departamento de Transportes e Geotecnia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora foram convidadas a simular a banca avaliadora avaliando as justificativas de causa dos rompimentos das pontes. Todos os equipamentos que seriam utilizados durante o evento foram testados e calibrados durante a simulação com o intuito detectar e mitigar eventuais problemas futuros.

2.4 Organização do evento

Após a realização dos testes com o papel cartão e a realização de um evento teste, foram feitas as modificações necessárias e finalizado o edital do concurso, que incluía a descrição de todas as etapas, bem como as premiações e regras. Uma das estratégias adotadas para estimular a participação dos alunos foi o contato com docentes dos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo para incentivo dos participantes com pontuações extra em disciplinas atreladas às competências do concurso. Além disso, foi oferecido ao primeiro lugar um prêmio em dinheiro na quantia R\$250,00. Além disso, as três primeiras equipes classificadas ganhariam medalhas simbólicas.

No edital do concurso, além de outras regulamentações, foi estabelecido o número máximo de 5 integrantes por equipe, sendo possível a inscrição de no máximo 20 equipes.

Os participantes passariam por três etapas ao longo do concurso. A primeira consistia na entrega do projeto e o dimensionamento da ponte, que poderiam ser elaborados utilizando softwares como FTOOL e AutoCAD. Após a entrega dos projetos, as equipes deveriam comparecer no dia da montagem, onde teriam 12 horas para confeccionar suas estruturas. A última etapa, o Evento de Ruptura, foi marcada para dois dias após a produção. Nela, as pontes são carregadas por um balde gradualmente preenchido com água até que ocorra a ruptura. Neste momento, os participantes são direcionados a elaborar a sua justificativa de rompimento em até 10 minutos.

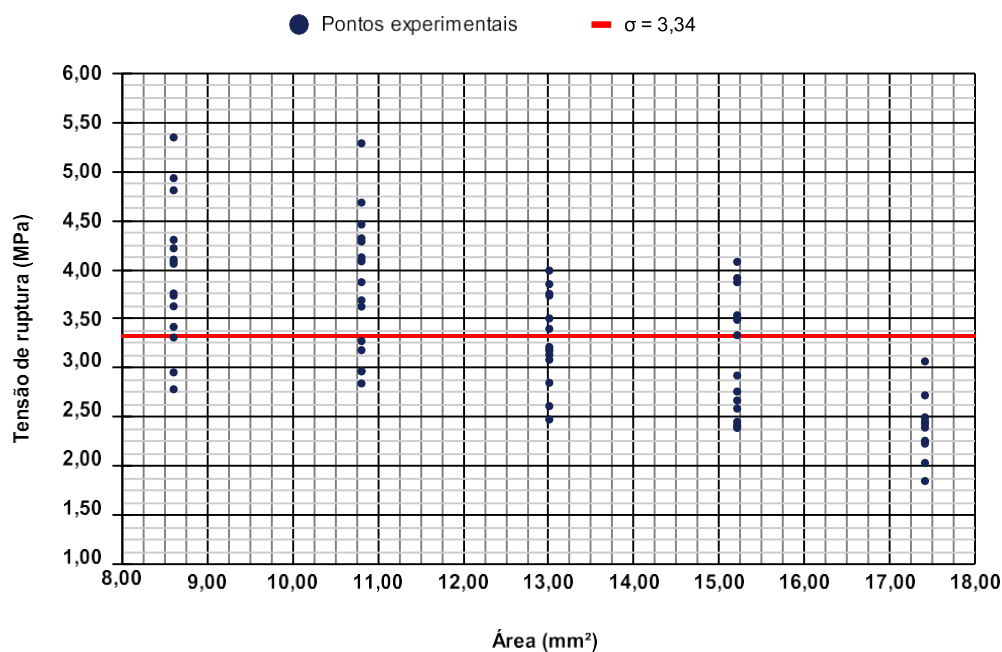
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após serem realizados os ensaios citados na Metodologia, com diferentes dimensões de corpos de prova, obteve-se os resultados referentes à tensão de ruptura, de compressão e de tração. Com isso, foi possível obter gráficos onde se traçou um eixo que demonstra a tensão média obtida.

Para os ensaios de compressão se obteve uma tensão média de 3,34 MPa e para a tração a tensão média obtida foi de 29,75 MPa. A curva de compressão é apresentada na Figura 3 e a de tração é apresentada na Figura 4. Os resultados foram disponibilizados juntamente com o edital.

Figura 3 - Resultado do ensaio de compressão.

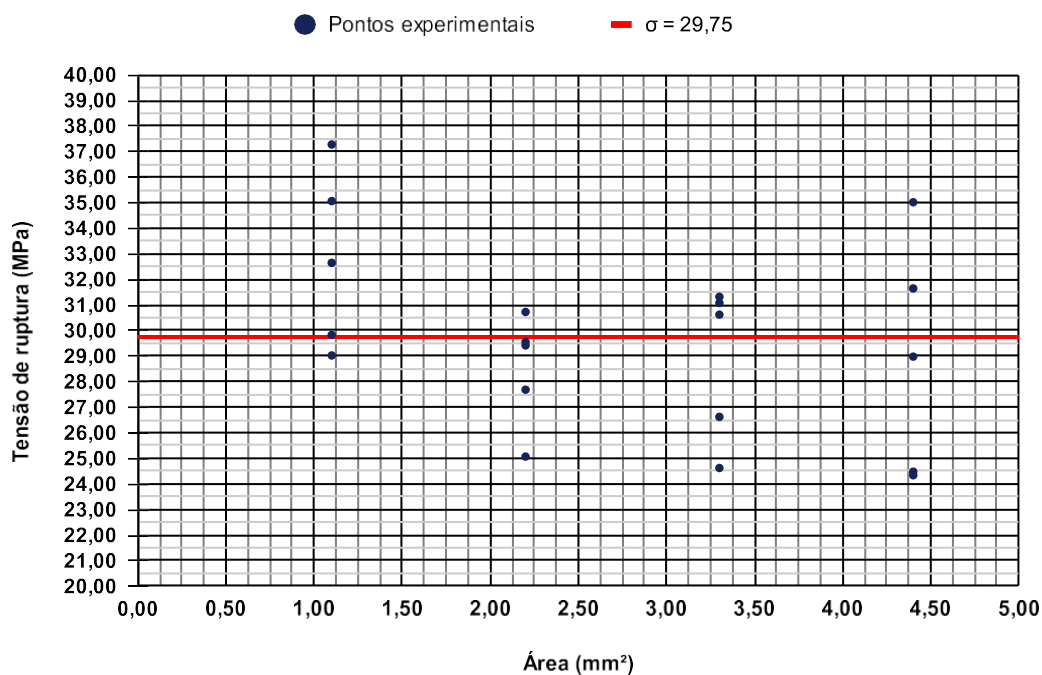
Área da seção transversal × Tensão de ruptura na compressão



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 - Resultado do ensaio de tração.

Área da seção transversal × Tensão de ruptura na tração



Fonte: Autoria própria.

Com a conclusão dos ensaios experimentais, realizou-se a simulação do evento previamente mencionado na seção de metodologia. Com base na coleta de resultados e feedbacks obtidos, foi determinado que o valor de carga para o qual as pontes deveriam ser dimensionadas seria ajustado de 10 kg para 8 kg. Tal decisão foi motivada pelo fato de que a ponte vencedora do referido teste apresentou uma carga de rompimento próxima a 8 kg, visando obter um maior sucesso em termos de desempenho estrutural.

Após a abertura do edital, foram computadas 14 inscrições, havendo três desistências e uma desclassificação. Assim, ao todo 10 equipes participaram efetivamente da XVIII Olimpíada de Engenharia Civil. As pontuações alcançadas por cada grupo são apresentadas na Tabela 2, classificadas em ordem de pontuação total.

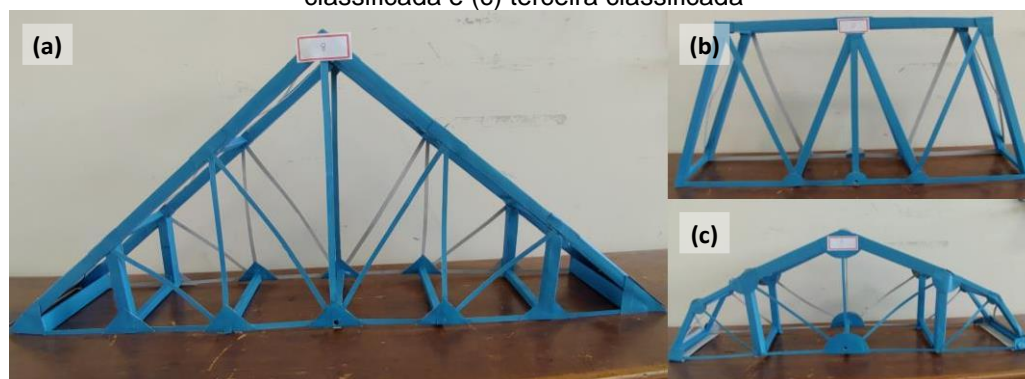
Tabela 2 - Pontuação geral do concurso.

| EQUIPE | EFICIÊNCIA ESTRUTURAL | EXATIDÃO DO PROJETO | ESTÉTICA | JUSTIFICATIVA | TOTAL |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|----------|---------------|-------|
| 8 - Ponte que Partiu | 40,00 | 27,23 | 4,38 | 3,50 | 75,11 |
| 9 - Paper frame | 32,78 | 20,89 | 1,68 | 6,50 | 61,85 |
| 5 - Tomara que caia | 30,94 | 15,11 | 0,53 | 10,50 | 57,08 |
| 13 - La ponte de papel | 36,24 | 9,26 | 0,82 | 8,75 | 55,07 |
| 14 - Os filhos da Ponte | 28,39 | 11,24 | 0,56 | 13,00 | 53,19 |
| 6 - Sussebridge | 23,92 | 15,52 | 0,44 | 8,25 | 48,13 |
| 10 - CIVIL 18 | 18,45 | 9,99 | 0,53 | 3,25 | 32,22 |
| 1 - Gol de Mão | 15,34 | 3,00 | 0,15 | 2,50 | 20,98 |
| 2 - Strong Bridge | 12,00 | 2,73 | 0,50 | 1,75 | 16,98 |
| 3 - Ponte para Terabitia | 10,00 | 1,90 | 2,50 | 2,50 | 16,90 |

Fonte: Autoria própria.

Após a avaliação de todos os requisitos, sagrou-se campeã a ponte número 8, "Ponte que Partiu", que obteve a maior pontuação. Na Tabela 2, é possível observar que a ponte alcançou uma eficiência estrutural superior às demais, além de apresentar uma vantagem de mais de 7 pontos em relação à segunda colocada em termos de exatidão de projeto. Este requisito é extremamente relevante, uma vez que está diretamente relacionado aos gráficos de tensão, indicando que o projeto se adequou aos parâmetros estabelecidos. Esses fatores desempenharam um papel quase decisivo no resultado final, sendo que a ponte também obteve pontuações favoráveis no quesito estética e uma pontuação mediana no quesito justificativa. Assim, a referida ponte terminou como a vencedora da XVIII Olimpíada de Engenharia Civil. A Figura 5 mostra as três primeiras pontes classificadas no concurso.

Figura 5 - Pontes vencedoras do concurso. (a) Primeira classificada, (b) segunda classificada e (c) terceira classificada



Fonte: Autoria própria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A participação em eventos acadêmicos como a Olimpíada de Engenharia Civil proporciona aos estudantes uma oportunidade única de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, além de estimular a criatividade e a capacidade de trabalho em equipe. Essas habilidades são fundamentais para a formação de um profissional competente e bem preparado para enfrentar os desafios da profissão.

Diante disso e com a redução da gravidade do estado pandêmico foi possível trazer aos moldes originais a realização da Olimpíada de Engenharia Civil com o concurso Pontes de Papel, competição tradicional da Faculdade de Engenharia. Nesse sentido, destaca-se que essa competição foi uma iniciativa extremamente relevante para o desenvolvimento acadêmico dos estudantes envolvidos. Por meio do desafio de conceber, dimensionar e montar pontes de papel, os participantes puderam aprimorar suas habilidades técnicas e cognitivas, além de estabelecer diálogo construtivo com outros estudantes de engenharia.

Portanto, iniciativas como essa devem ser valorizadas e incentivadas, pois contribuem de forma significativa para a formação de profissionais mais competentes e qualificados para atuar no mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS

BANDEIRA, R.H.S.; FAGUNDES, I. C.; SILVA, M. P. S.; RIGHI, J. A. **Aprendizado através de competições: a XVII Olimpíada de Engenharia Civil**. In: 50º COBENGE - Congresso Brasileiro Educação em Engenharia, 2022. 50º COBENGE - Congresso Brasileiro Educação em Engenharia, 2022.

HINES, Eric M.; BILLINGTON, David P. **Case study of bridge design competition**. Journal of Bridge Engineering, v. 3, n. 3, p. 93-102, 1998.

PET CIVIL UFJF. **XVIII Olimpíada de Engenharia Civil – Concurso pontes de Papel 2022**. PET Engenharia Civil, Juiz de Fora, 2022. Disponível em: <https://www.ufjf.br/petcivil/2022/09/26/xviii-olimpiada-de-engenharia-civil-concurso-pontes-de-papel-novo/>. Acesso em: 07 mai. 2023.

RESSLER, Stephen J. **Designing and building file-folder bridges: A problem-based Introduction to engineering**. Government Printing Office, 2001.

TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez; TEIXEIRA, Cynthia Helena Soares Bouças; DE ARAÚJO BRITO, Max Leandro. A formação profissional do engenheiro: um enfoque nas metodologias ativas de aprendizagem em Universidade Federal. **Revista Brasileira da Educação Profissional e Tecnológica**, v. 2, n. 15, p. e7330-e7330, 2018.

THE PAPER BRIDGES CONTEST: PROMOTING LEARNING THROUGH PRACTICAL CHALLENGES

Abstract: *The Paper Bridges competition has become an important activity in the academic community of engineering courses worldwide. The challenge consists of designing, building, and testing bridges made solely of paper and glue to evaluate students' ability to apply theoretical concepts to a practical project, promote a fun learning experience, and stimulate the development of socio-emotional skills such as teamwork, creativity, and problem-solving. PET Civil UFJF, which has been organizing the competition at UFJF since 2007, is a successful example of organizing this type of competition. The PET program aims to provide high-quality and comprehensive academic training to all students, and this philosophy underlies the group's motivation and fosters activities that stimulate the learning process through competitions. This paper describes the stages of the XVIII Civil Engineering Olympics: Paper Bridges competition, contextualizing its prospecting, preparation, organization, execution, and, finally, presenting a consideration of the competition's impact on the participants' education.*

Keywords: *competition, active learning, engineering education, structures.*