

PONTE BASCULANTE ACIONADA POR SISTEMA HIDRÁULICO: UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DO PRINCÍPIO DE PASCAL

A tilting bridge operated by a hydraulic system: a low-cost experimental proposal for teaching Pascal's Principle

Jéssica Vicente Luiz^{1,2} [jessicaluiz@faculdadeserradourada.com.br/jessica.vluiz@usp.br]

Gabriela Machado Guimarães Ferreira^{1,2} [gabrielaferreira@faculdadeserradourada.com.br]

¹ Faculdade Serra Dourada – Grupo Trivento Educação
Estrada Chiquito de Aquino, Estrada Santa Lucrécia, 46, Lorena, SP, Brasil, CEP 12612-550

² Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo (EEL-USP)
Estrada Municipal do Campinho, s/n, Campinho, Lorena, SP, Brasil, CEP 12602-810

Recebido: 16/12/2025

Aceito: 28/03/2026

Resumo

O Princípio de Pascal descreve que a pressão aplicada a um fluido em equilíbrio é transmitida integralmente para todos os pontos desse fluido. A partir desse conceito, diversos conteúdos, como densidade, viscosidade, pressão e equilíbrio de forças, podem ser explorados de maneira prática em sala de aula. Este trabalho apresenta uma proposta de experimento de baixo custo utilizando uma ponte basculante acionada por seringas interligadas por um fluido incompressível, construída tanto com palitos de picolé quanto por meio de impressão 3D. A atividade permite comparar tempos de acionamento considerando diferentes massas, áreas de êmbolo e tipos de fluido, favorecendo a compreensão dos fenômenos envolvidos. Os resultados mostram que o protótipo em palitos, por apresentar menor massa, possui acionamento mais rápido em relação ao protótipo impresso em 3D. A proposta integra metodologia ativa, aprendizagem experimental e contexto tecnológico, sendo aplicável desde o Ensino Médio até o Ensino Superior.

Palavras-chave: Princípio de Pascal; Sistema hidráulico; Impressão 3D; Ensino de Física; Experimentação.

Abstract

Pascal's Principle describes that pressure applied to a fluid in equilibrium is transmitted integrally to all points of that fluid. From this concept, various topics, such as density, viscosity, pressure, and force equilibrium, can be explored practically in the classroom. This work presents a low-cost experiment using a tilting bridge actuated by syringes interconnected by an incompressible fluid, constructed both with popsicle sticks and through 3D printing. The activity allows for the comparison of actuation times considering different masses, piston areas, and fluid types, favoring the understanding of the phenomena involved. The results show that the popsicle stick prototype, due to its lower mass, has a faster actuation time compared to the 3D printed prototype. The proposal integrates active methodology, experiential learning, and technological context, being applicable from high school to higher education.

Keywords: Pascal's Principle; Hydraulic system; 3D printing; Physics teaching; Experimentation.

1. Introdução

Em cursos de Física, são estudados os conceitos de hidráulica com base nas Leis de Pascal, que estabelecem que a pressão exercida em um fluido confinado é transmitida integralmente e com a mesma intensidade em todas as direções. Esse princípio é aplicado em dispositivos como prensas hidráulicas, freios de automóveis e macacos hidráulicos, permitindo compreender como pequenas forças podem ser amplificadas e utilizadas em sistemas mecânicos (PASCAL, 1663). Uma situação-problema bastante conhecida envolve o uso de um macaco hidráulico, conforme ilustrado na Figura 1.

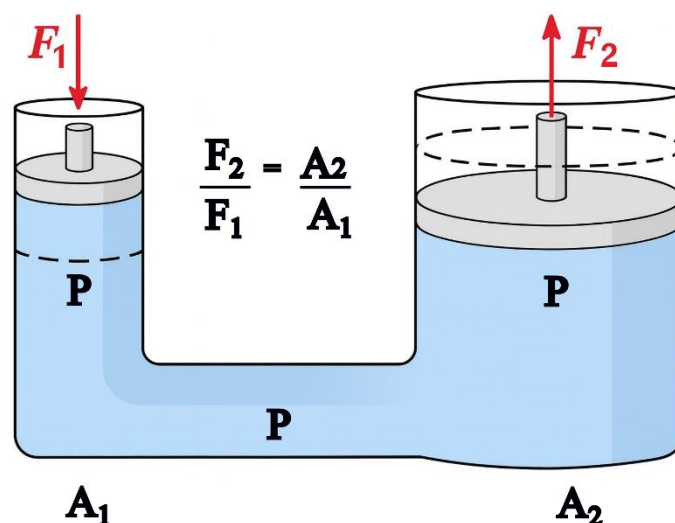


Figura 1: Representação do Princípio de Pascal.

Fonte: Autoria própria

A Figura 1 ilustra como o Princípio de Pascal pode ser utilizado para elevar objetos pesados com a aplicação de uma força relativamente menor, por meio de um sistema hidráulico composto por fluido incompressível contido em tubos ou seringas interligadas. Uma seringa (ou pistão) de menor área (A_1) recebe uma força aplicada (F_1), que é transmitida pelo fluido a outra seringa de maior área (A_2), gerando uma força resultante (F_2). Quando a seringa de maior área sustenta uma carga, o sistema amplifica a força aplicada no pistão menor, possibilitando a elevação do objeto. Ao acionar a seringa menor, o fluido transmite a pressão para a seringa maior, promovendo o deslocamento do êmbolo e a elevação da carga, evidenciando o movimento ascendente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2014).

Propostas experimentais de baixo custo e fácil montagem que elucidem esse princípio constituem alternativas atrativas e complementares às metodologias ativas de ensino, como o ensino por investigação, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e envolvente (CUNHA et al., 2024). O uso da impressão 3D na educação, além de facilitar a compreensão dos conceitos, apresenta vantagens como a ressignificação do papel do estudante no processo de aprendizagem, estimulando sua participação ativa (VUKAŠINOVIĆ et al., 2024; FIORESE; TREVISOL, 2024). Apesar desses benefícios, o tema ainda é pouco explorado e demanda investigações adicionais para aprofundar sua compreensão e potencial aplicação. Nesse contexto, o presente trabalho propõe um protótipo com o objetivo de demonstrar o Princípio de Pascal por meio do funcionamento de uma ponte basculante inspirada na Tower Bridge.

2. Metodologia

O projeto consistiu no desenvolvimento de um protótipo de ponte basculante (Tower Bridge) com o objetivo de demonstrar, de forma prática, as Leis de Pascal e conceitos correlatos, como densidade, viscosidade, pressão e equilíbrio de forças. A Figura 2 apresenta o protótipo desenvolvido, enquanto os materiais utilizados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Materiais utilizados para a confecção das pontes.

Categoria	Materiais e Equipamentos
Prototipagem em impressão 3D	Impressora FDM; filamento PLA; softwares de modelagem 3D (Tinkercad e/ou Fusion 360); ferramentas manuais (tesoura, estilete, cola).
Prototipagem de baixo custo → Palitos de picolé; cola; ferramentas	Impressora FDM; filamento PLA; softwares de modelagem 3D (Tinkercad e/ou Fusion 360); ferramentas manuais (tesoura, estilete, cola).
Sistema hidráulico	Seringas transparentes; mangueiras.
Fluidos utilizados	Água com corante; tinta guache.

No experimento, foram utilizados dois modelos de ponte construídos com materiais distintos e acionados por fluido. O protótipo impresso em 3D foi modelado em software específico, fabricado em PLA e ajustado quanto aos parâmetros de impressão, como número de camadas, densidade de preenchimento e uso de suportes, garantindo resistência mecânica adequada. O segundo modelo foi confeccionado com palitos de picolé e cola, mantendo proporções semelhantes ao modelo impresso, de modo a assegurar sua funcionalidade durante a demonstração.

Ambos os protótipos foram acoplados a recipientes contendo fluido colorido (água com corante), com o objetivo de facilitar a visualização do fenômeno, conferindo caráter didático à atividade (Figura 2). Cada sistema foi composto por duas seringas interligadas: uma destinada ao acionamento manual, com volume de 20 mL, e outra fixada à estrutura, com volume de 10 mL, permitindo a observação da transmissão de pressão.

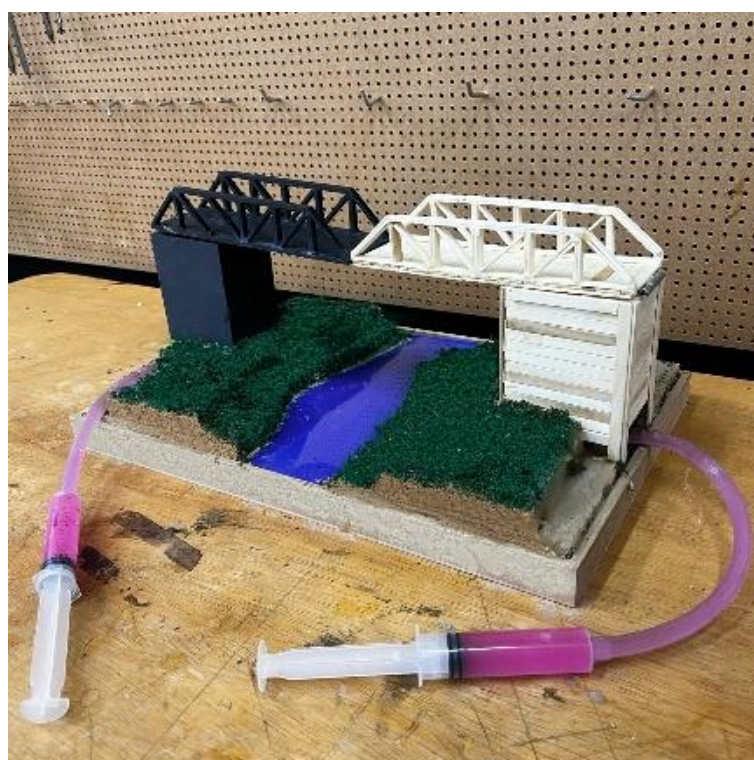


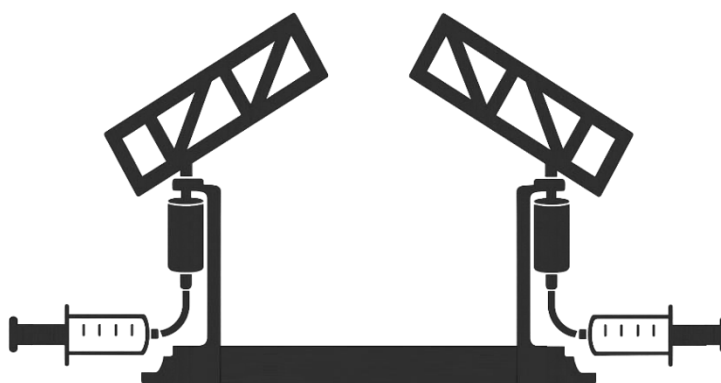
Figura 2: Protótipo de ponte basculante acionada por sistema hidráulico.

Fonte: Autoria própria

O acionamento do sistema foi realizado por meio de seringas conectadas por um tubo flexível com diâmetro interno de 1 cm, preenchido com diferentes fluidos (água com corante e tinta guache). O objetivo foi analisar o comportamento do sistema em função da viscosidade do fluido, da massa das estruturas e das características dos participantes responsáveis pelo acionamento.

Durante o experimento, a aplicação de força nas seringas permitiu observar a transmissão de pressão em todas as direções no fluido. O movimento da ponte possibilitou a discussão das relações entre pressão, área e equilíbrio de forças, conforme os princípios fundamentais da hidráulica.

O Princípio de Pascal, enunciado por Blaise Pascal, estabelece que a pressão aplicada a um fluido em equilíbrio estático é transmitida igualmente, sem perdas, a todos os pontos do fluido e às paredes do recipiente, conforme ilustrado na Figura 3 e expresso pela Equação (1), $\Delta P_1 = \Delta P_2$.

**Figura 3-** Esquema do sistema hidráulico utilizando seringas interligadas.

Fonte: Autoria própria

A pressão é definida como a razão entre a força aplicada e a área de atuação, sendo expressa em pascal (Pa). Assim, ao se aplicar uma força em um sistema hidráulico, o aumento de pressão é transmitido uniformemente por todo o fluido.

Observou-se que a utilização de fluidos com diferentes viscosidades resultou em distintos tempos de acionamento da ponte, evidenciando a influência das propriedades do fluido no comportamento do sistema. Além disso, em seringas com êmbolos de áreas diferentes, a força exercida no êmbolo de maior área é proporcionalmente maior, embora a pressão permaneça constante em todo o sistema. Dessa forma, variações na área implicam variações na força resultante, conforme discutido por Gaspar (2004).

3. Resultados

Para a realização do experimento, os êmbolos das seringas foram inicialmente removidos, e suas extremidades conectadas a um tubo flexível transparente. Em seguida, a seringa de maior diâmetro foi preenchida com fluido até o completo preenchimento do sistema, enquanto a seringa de menor diâmetro permaneceu com o êmbolo pressionado, garantindo a eliminação de bolhas de ar no circuito hidráulico. Foram utilizados diferentes fluidos, como água com corante e tinta guache.

Após a montagem, o acionamento do êmbolo da seringa de maior diâmetro provocou o deslocamento do êmbolo da seringa de menor diâmetro e, conseqüentemente, o movimento da ponte basculante. O comportamento inverso também foi observado: ao acionar a seringa de menor diâmetro, a ponte retornava à posição inicial, com o fluido sendo deslocado no sentido oposto.

Outras variáveis relevantes para a análise do Princípio de Pascal também foram investigadas. A primeira refere-se à influência da área do êmbolo, utilizando seringas de diferentes diâmetros. Verifica-se que, para uma mesma pressão transmitida, êmbolos com maior área resultam em forças maiores, permitindo a compreensão da relação entre pressão, força e área, expressa por: $P = F/A$.

A segunda variável analisada foi a influência da massa aplicada à estrutura. Protótipos confeccionados por diferentes métodos construtivos possibilitaram avaliar como o aumento da carga interfere no tempo de acionamento e na força necessária para o movimento. Essa comparação evidencia a influência de fatores mecânicos e estruturais no desempenho do sistema hidráulico.

Durante o experimento, observou-se que o êmbolo de maior área apresentou maior resistência ao movimento, enquanto o de menor área se deslocou com maior facilidade. Esse comportamento está diretamente relacionado à área de atuação da força, considerando que a pressão permanece constante em todo o fluido, conforme estabelecido pela Lei de Pascal. Assim, quanto maior a área do êmbolo, maior é a força necessária para promover seu deslocamento.

Adicionalmente, verificou-se que a ponte confeccionada com palitos de picolé, de menor massa (45,98 g), apresentou menor tempo de acionamento em comparação à ponte produzida por impressão 3D, com massa de 60,70 g. O aumento aproximado de 32% na massa da estrutura impressa resultou em maior tempo de resposta do sistema, evidenciando a influência da carga aplicada no desempenho do mecanismo hidráulico, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo médio de acionamento das pontes confeccionadas em impressão 3D e com palitos de picolé, apresentando o tempo obtido pelos participantes do gênero masculino e feminino.

Gênero	Tempo da ponte 3D (s)	Tempo da ponte de palito (s)
Feminino	1,40	0,96
Feminino	0,80	0,76
Feminino	1,60	0,74
Feminino	1,30	0,71
Feminino	2,36	1,36
Masculino	0,96	0,66
Masculino	0,80	0,40
Masculino	0,20	0,73
Masculino	2,33	1,44
Masculino	1,04	1,08

A média de tempo de acionamento da ponte confeccionada por impressão 3D foi de 1,28 s, enquanto a ponte construída com palitos de picolé apresentou média de 0,89 s. Observa-se, portanto, uma diferença de aproximadamente 0,39 s, indicando que, na maioria das situações analisadas, a ponte de palitos apresentou acionamento mais rápido, resultado coerente com sua menor massa em comparação à estrutura impressa em 3D.

Em relação ao perfil dos participantes, as médias de tempo para o acionamento da ponte impressa em 3D foram de 1,50 s para o grupo feminino e 1,07 s para o grupo masculino. Para a ponte de palitos, os tempos médios foram de 0,91 s e 0,86 s, respectivamente. Essas diferenças devem ser interpretadas no contexto didático da atividade, não sendo indicativas de desempenho

associado ao gênero, mas sim de variações individuais relacionadas à força aplicada, tempo de resposta e familiaridade com o experimento.

Quando o fluido foi substituído por tinta guache, observou-se maior resistência ao acionamento das pontes. Esse comportamento está associado à maior viscosidade e densidade do fluido, que dificultam seu escoamento pelas seringas e exigem maior esforço para o acionamento. Por outro lado, essa condição tornou a atividade mais demonstrativa, permitindo evidenciar de forma mais clara a influência das propriedades do fluido no funcionamento do sistema hidráulico.

A relação entre as seringas pode ser analisada considerando que, para geometrias semelhantes, o volume é proporcional à área da seção transversal do êmbolo. Assim, ao comparar seringas de 10 mL e 20 mL, a razão entre as áreas pode ser aproximada pela razão entre seus volumes, conforme:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{20}{10} = 2$$

Dessa forma, a seringa de maior volume apresenta aproximadamente o dobro da área da menor, implicando que, para uma mesma pressão aplicada, a força resultante no êmbolo maior é aproximadamente duas vezes superior.

De modo geral, os resultados evidenciam a transmissão de pressão descrita pelo Princípio de Pascal. O acionamento da ponte ocorreu em ambos os sentidos, com diferenças no esforço requerido, destacando a relação entre área do êmbolo e força aplicada.

Observou-se ainda que seringas de maior área exigem maior força para movimentação, embora proporcionem amplificação da força no sistema. Além disso, fluidos mais viscosos aumentam o tempo de resposta e o esforço necessário, enquanto estruturas de menor massa resultam em acionamento mais rápido.

Como aplicação didática, o experimento pode ser associado a metodologias ativas, como a sala de aula invertida, utilizando-se, por exemplo, a ponte Tower Bridge como contexto de problematização. Nesse sentido, atividades prévias, como a análise de vídeos sobre hidráulica e sistemas mecânicos, podem ser utilizadas para preparar os estudantes, permitindo que a prática experimental seja voltada à discussão conceitual e à análise dos resultados. Dessa forma, a atividade contribui para a compreensão de conceitos como transmissão de pressão em fluidos, vantagem mecânica e equilíbrio de torques, promovendo a integração entre experimentação e fundamentação teórica.

4. Considerações finais

A proposta desenvolvida evidencia que atividades experimentais simples, de baixo custo e facilmente replicáveis podem favorecer a aprendizagem significativa de conceitos associados ao Princípio de Pascal. A construção da ponte basculante, em versões artesanal e por impressão 3D, mostrou-se eficiente para integrar tecnologia, experimentação e metodologias ativas no ensino de Física.

Os resultados indicam que a atividade possui potencial de aplicação tanto no Ensino Médio quanto no Ensino Superior, permitindo a abordagem integrada de conceitos como pressão, densidade, viscosidade e equilíbrio de forças. Além disso, a proposta contribui para o

desenvolvimento do pensamento científico e tecnológico, ao envolver etapas como concepção, construção e análise de sistemas inspirados em problemas reais de engenharia.

Destaca-se, ainda, a flexibilidade do experimento, que pode ser adaptado conforme os recursos disponíveis, seja por meio de materiais acessíveis, como palitos de picolé, seja pela utilização de impressão 3D. A variação de parâmetros, como massa da estrutura e tipo de fluido, possibilita explorar diferentes comportamentos hidráulicos, enriquecendo a análise experimental.

De modo geral, a atividade demonstrou ser uma ferramenta didática eficaz para o ensino de conceitos fundamentais da hidráulica, promovendo a articulação entre teoria e prática e favorecendo a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem.

5. Referências bibliográficas

Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. *Fundamentals of Physics*. 10. ed. Hoboken: Wiley, 2014.

Pascal, B. *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*. Paris, 1663.

Vukašinović, V.; Gordić, D.; Šušteršič, V.; Josijević, M.; Nikolić, J. The Implementation of 3D Printing in Engineering Education in the Field of Hydraulic and Pneumatic Components. *3D Printing and Additive Manufacturing*, v. 11, n. 4, 2024.

Fiorese, C. E.; Trevisol, M. T. C. Práticas pedagógicas inovadoras: critérios atribuídos por Professores(as) formadores(as) que atuam em cursos de pedagogia. *Educação em Revista*, v. 40, e45698, 2024.

Cunha, M. B. Da; Omachi, N. A.; Ritter, O. M. S.; Nascimento, J. E. Do; Marques, G. Q.; Lima, F. O. Metodologias ativas: em busca de uma caracterização e definição. *Educação em Revista*, v. 40, e39442, 2024.

Gaspar, A. *Física 2 – Hidrostática, Termologia e Óptica*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2004.