

DOI: [10.46943/IX.CONEDU.2023.GT19.030](https://doi.org/10.46943/IX.CONEDU.2023.GT19.030)

O ARCO VIÁRIO METROPOLITANO DO RECIFE COMO MODELO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PBL NO ENSINO DA GEOMETRIA DESCRITIVA NA ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ EDESON DE MELO SIQUEIRA

Doutor pelo Curso de Educação Matemática e Tecnológica da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, edeson.siqueira@ufpe.br;

JEAN-BAPTISTE SCHARFFHAUSEN

Doutorando do Curso de Design da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, jean-baptiste.scharffhausen@ufpe.br;

HELENA BEATRIZ GONÇALVES CAVALCANTE

Graduanda do Curso de Engenharia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, helena.cavalcante@ufpe.br;

MARCELLY FERREIRA SOARES

Graduanda do Curso de Engenharia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, marcelly.soares@ufpe.br.

RESUMO

O Arco Viário Metropolitano foi uma iniciativa do Governo do Estado de Pernambuco concebida com o propósito de reforçar a segurança ao longo da extensão da BR 101, aliviar o tráfego nos acessos à Região Metropolitana do Recife (RMR) e promover desenvolvimentos nas áreas circunvizinhas, entretanto, criado na década de 1990, tornou-se obsoleto em certos aspectos. Assim, a disciplina de Geometria Descritiva do bacharelado de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) Campus Recife propõe reexaminá-lo, gerando propostas que viabilizem e aperfeiçoem o projeto no presente momento. Para tanto, o centro metodológico foi o uso de Problem- Based Learning (PBL), cuja aprendizagem se dá a partir da resolução de diversas dificuldades reais na vida de um engenheiro, fazendo o uso de tecnologias como a modelagem 3D, que além de representar e projetar também inclui simulações,

testes e a eventual materialização por meio da fabricação digital. Além disso, é importante destacar que o processo visa englobar múltiplas etapas, resultando em produtos tangíveis. Foram importantes ao longo dessa pesquisa autores como RIBEIRO (2008) e COSTA et al (2007), que comprovam os profícuos usos do método na área das ciências exatas. Como os principais resultados, para além do alto engajamento dos discentes, foi produzida uma maquete que retrata o projeto dos alunos, os participantes tiveram a possibilidade de ter contato com documentos oficiais, como Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) e cartas topográficas históricas do estado de Pernambuco, bem como a produção de um completo Relatório acerca da culminância do projeto que fundiu a capacidade de resolução de problemas por parte de alunos que ainda estão na educação profissional com a obtenção ativa de conhecimentos técnicos.

Palavras-chave: Engenharia Civil, Geometria Descritiva, PBL, Tecnologias Digitais.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a infraestrutura viária desempenha um papel essencial no progresso das cidades e regiões metropolitanas, interligando não apenas pessoas, mercadorias e serviços, mas também influenciando diretamente o meio ambiente e a qualidade de vida das comunidades. No contexto do século XXI, é crucial repensar e redefinir como concebemos e implementamos esses projetos, buscando minimizar impactos negativos e priorizar a sustentabilidade, ao mesmo tempo em que incorporamos tecnologias inovadoras.

Um exemplo marcante dessa necessidade é o projeto do Arco Viário Metropolitano do Recife. Por meio de uma abordagem remodelada, onde a integração tecnológica se alia à preservação ambiental e à redução das alterações na paisagem, é viável desenvolver uma infraestrutura que atenda às demandas presentes e futuras, sem comprometer o meio ambiente ou a qualidade de vida das comunidades afetadas. A dinâmica social em rápida transformação, impulsionada pelo avanço do pensamento, conhecimento e acesso às tecnologias, está redefinindo fundamentalmente a maneira como concebemos, construímos e operamos infraestruturas. A adoção de tecnologias como o Desenho Assistido por Computador (CAD), análise de dados em tempo real e automação apresenta um potencial significativo para aprimorar não apenas a eficiência operacional, mas também a segurança das estradas.

A possibilidade de utilização em larga escala e com cada vez mais acessibilidade aos sistemas inteligentes de monitoramento fornecem informações precisas e atualizadas sobre as condições desses espaços, abrangendo aspectos como hidrologia, topografia, mineralogia, entre outros. Essa abordagem possibilita não apenas a otimização do planejamento viário, mas também a detecção precoce de problemas, garantindo uma gestão mais eficaz e adaptável às necessidades dinâmicas das comunidades.

Ao passo que a sociedade muda, a educação também precisa moldar-se a essas mudanças e, conseqüentemente, realizar adequações. É relevante afirmar que o modo tradicional de lecionar talvez não seja mais tão atraente aos alunos quanto já foi, anteriormente. Dessa forma, surge uma janela de oportunidades para (re)descoberta de uma educação pulsante, especialmente no Ensino Superior, onde tantos estudantes já trabalham, possuem o tempo de dedicação cada vez mais escasso, além de estarem cada vez mais imersos nas tecnologias.

Dessa forma, foi proposto aos discentes do Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco - **Campus** Recife que, nas aulas de Geometria Descritiva, utilizassem a metodologia de Problem-Based Learning (PBL) para o andamento do curso. Nela, duas opções eram possíveis, a escolha entre projetos de telhados, para se debruçar sobre grandes patrimônios históricos, como o Convento de São Bento, localizado na cidade de Olinda (em um patrimônio tombado pela UNESCO), Forte das Cinco Pontas, na cidade do Recife, um modelo clássico de arquitetura holandesa no estado de Pernambuco, ou mesmo construções mais contemporâneas, como a Casa da Música, na cidade do Porto - Portugal, que busca lançar o olhar sobre formas de telhados que reinterpretem a noção clássica; ou o problema de estradas, cujo cerne seria o Arco Viário Metropolitano, projeto proposto pelo Governo do Estado de Pernambuco há 20 anos, com o objetivo de desviar o trânsito da região metropolitana do Recife e levar maior desenvolvimento para cidades mais afastadas.

A escolha do projeto de estradas elucidou parte do que fora comentado anteriormente, a descoberta por parte dos alunos participantes de muitas tecnologias possíveis na elaboração de projetos, seja possibilitando a concatenação de outros conceitos aprendidos ao longo do curso, seja desenvolvendo outras habilidades adquiridas no momento oportuno.

Tratando-se especificamente da disciplina que é o palco de tantas descobertas e também a que apoia todo esse aprendizado e elucidação, a Geometria Descritiva, a sua história começa com Tales de Mileto, que introduziu o estudo da geometria na Grécia Antiga. No entanto, foi Gaspard Monge quem elaborou o método projetivo, um marco de grande impacto no avanço tecnológico desde sua formalização (Soares, 2007). A Geometria Descritiva é crucial para estudantes de engenharia civil, permitindo a visualização e representação de formas tridimensionais em um espaço bidimensional, bem como a transição de um espaço bidimensional para um espaço tridimensional, algo fundamental na concepção de projetos de construção. Ademais, a Geometria Descritiva é um pilar essencial para compreender a geometria analítica, vastamente empregada na engenharia.

Monge é reverenciado como o pioneiro da Geometria Descritiva, tendo criado o método projetivo que viabilizou a representação de formas tridimensionais em um espaço bidimensional. Por outro lado, Klein desenvolveu a teoria dos conjuntos de transformações, com amplo impacto na geometria e em outras áreas da matemática (Soares, 2007).

A Geometria Descritiva pode ser um desafio para os estudantes, porém, é uma disciplina crucial na formação de engenheiros civis, pois possibilita a visualização e representação de formas tridimensionais em um espaço bidimensional, essencial na elaboração de projetos de construção (Thomas, 2000). Nesse sentido, utilizou-se da Geometria Descritiva para representar o foco central escolhido para essa disciplina: estradas. Sob essa ótica, podemos afirmar que o histórico de projetos viários em Pernambuco, especialmente na região metropolitana de Recife, reflete a evolução socioeconômica, cultural e geográfica da área ao longo dos anos (Coimbra, 1975). Desde a era colonial, a construção e expansão das vias desempenharam um papel crucial na conexão entre cidades, na exploração econômica e na integração cultural.

Por outro lado, a compreensão dos projetos de estradas em Geometria Descritiva lançaram luz não somente em questões técnicas, mas buscaram fomentar também nos participantes a preocupação com o meio ambiente, um tópico que veio crescer em relevância nos últimos anos e é fulcral de ser pensado, especialmente frente às mudanças climáticas.

Essa deve ser, em especial, uma preocupação na formação de futuros engenheiros civis porque o crescimento acelerado das cidades também apresentou desafios, à medida que o volume de veículos aumentou. A necessidade por vias mais espaçosas e ágeis muitas vezes levou à eliminação de espaços naturais e à perturbação de ecossistemas locais. Portanto, os empreendimentos viários devem hoje contemplar não apenas a mobilidade, mas também a preservação ambiental e o bem-estar dos residentes.

Dentro desse cenário, o atual plano de vias apresenta uma chance de integrar inovações tecnológicas e diretrizes sustentáveis. Ademais, a proteção ambiental ganhou uma importância crucial, com a urgência de reduzir o impacto sobre a vida selvagem, a vegetação e os recursos hídricos.

Em resumo, a trajetória dos empreendimentos viários em Pernambuco, especialmente em Recife e sua região metropolitana, revela os desafios e as oportunidades de cada época. À medida que progredimos, é fundamental que tais planos levem em conta tanto os aspectos históricos quanto às demandas contemporâneas, unindo tecnologia avançada, preservação ambiental e práticas sustentáveis em engenharia civil, visando assegurar um futuro mais equilibrado e resistente às mudanças.

METODOLOGIA

O presente projeto foi desenvolvido em algumas partes. A primeira delas desenvolveu-se em uma pequena parte de aulas teóricas apenas com a finalidade de ambientar os alunos participantes da disciplina a respeito do que seria a Geometria Descritiva. Serviu como uma espécie de nivelamento, uma vez que muitos discentes nunca tiveram contato com o desenho técnico antes, e esse tipo de conhecimento envolve muitas normas, técnicas, teorias, além de uma base matemática. Assim, após alguns encontros, que duraram cerca de um mês, os alunos foram efetivamente apresentados aos projetos que seriam amplamente discutidos, trabalhados e desenvolvidos ao longo dos próximos meses.

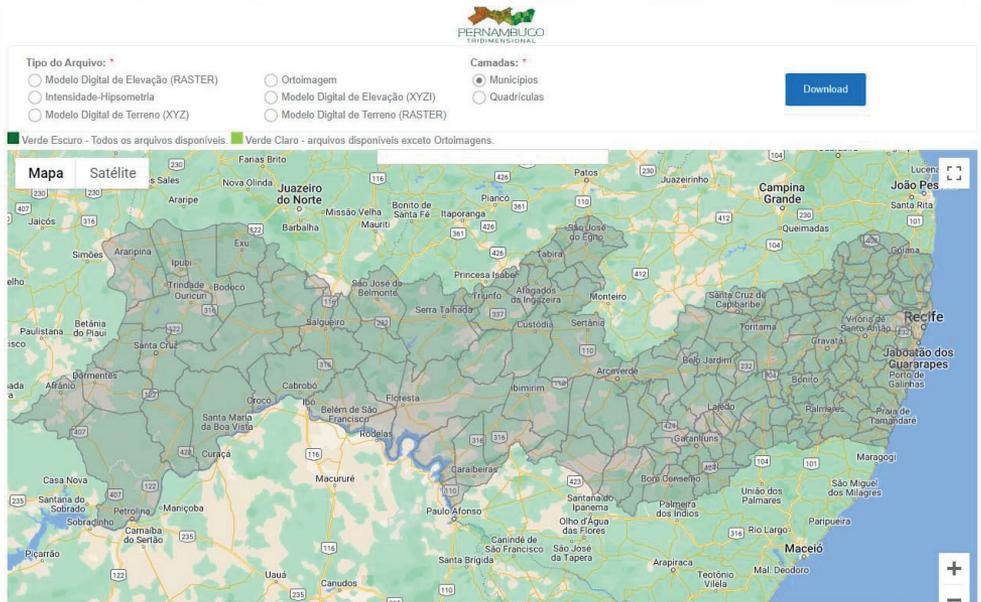
A segunda parte da disciplina foi a escolha dos projetos. Os diversos grupos da turma fizeram as suas escolhas, inicialmente, com base em um critério visual e de proximidade. Ou seja, o que mais gostavam de acordo com imagens, conhecimento prévio, etc. No caso do grupo de estradas, a proximidade é tamanha, haja vista que a Universidade Federal de Pernambuco - *Campus* Recife é construída às margens da BR-101 e, em determinados momentos do ano, muitos casos de longos engarrafamentos são vistos, prejudicando diversas pessoas, inclusive, no acesso à Universidade.

Assim, com as escolhas feitas, o terceiro passo seria reunir tudo o que se sabia a respeito do projeto do Arco Viário Metropolitano do Recife. O projeto é consideravelmente antigo, datava de 20 anos atrás, de lá para cá, muitas coisas mudaram na Engenharia Civil, então, além disso, estava o desafio de como lidar com a questão temporal entre o projeto e a data de hoje.

No processo do descobrimento de ferramentas que pudessem colaborar com o desenvolvimento da (re)leitura do Arco, foi estudado pelos discentes a ferramenta disponibilizada gratuitamente em *software* aberto pelo Governo do Estado de Pernambuco chamada Pernambuco Tridimensional (PE3D), cujos diversos formatos de arquivo são facilmente encontrados, uma vez que todo o território estadual foi mapeado em altíssima qualidade.

Dentre os produtos ofertados pelo PE3D, foram selecionados para utilização: ortoimagem, densidade-hipsometria, modelo digital de terreno e modelo digital de elevação.

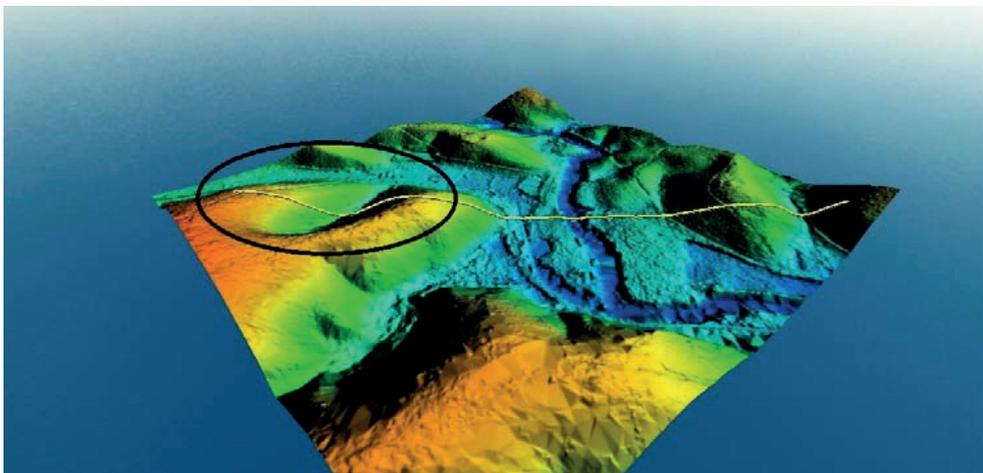
Figura 1: Menu de funções do PE3D



Fonte: Pernambuco Tridimensional, 2016

No entanto, as áreas exibidas pelo software são muito extensas, delimitadas como “quadrículas”, cobrindo grandes porções de áreas. Para viabilizar o remodelamento do projeto, o grupo decidiu sectionar um pequeno trecho dentre os 70 km do Arco Viário, estando localizado, especificamente, entre os municípios pernambucanos de São Lourenço da Mata e Paudalho, pois já havia um levantamento realizado anteriormente para ser utilizado como base, facilitando um pouco no momento de projetar as soluções para a área.

Figura 3: Localização do trecho trabalhado em relação às altitudes

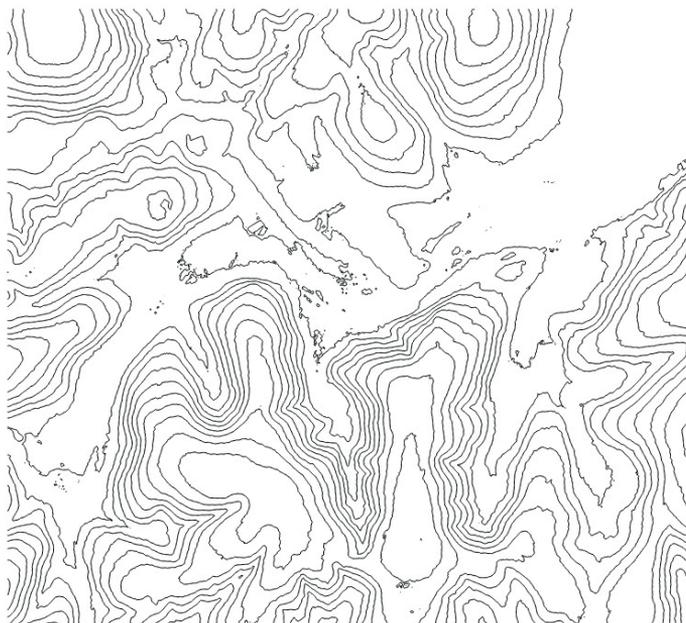


Fonte: os Autores (2023)

Outro item relevante é perceber que uma premissa da Engenharia Civil é aliar as necessidades do projeto com a viabilidade econômica da operação. Ou seja, era necessário aliar uma base de custos estimada para o projeto realizado, buscando fazer traçados para a estrada que seguisse o menor trecho possível, além de aliar os melhores materiais possíveis com o menor custo possível.

Haja vista a necessidade de trabalhar com uma área de tantas alturas diversas, era necessário uma abordagem focada nas cotas, uma vez que todo o projeto baseava-se em soluções de infraestrutura de altitude. Deste modo, foram elaboradas pelos participantes do curso as curvas de níveis de metro em metro, ou seja, um contorno visto de cima de toda a formação do relevo, além do perfil longitudinal, que mostra como se comportam esses taludes ao longo da variação dos metros.

Figura 4: Curvas de níveis de metro em metro da área trabalhada



Fonte: os Autores (2023)

Figura 5: Perfil longitudinal da área

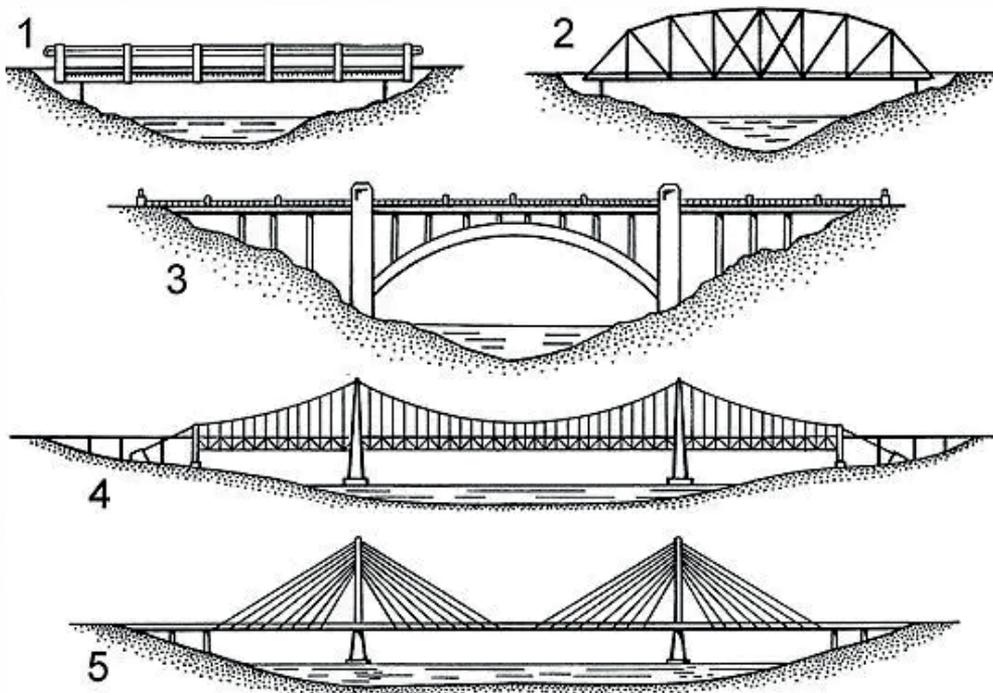


Fonte: os Autores (2023)

Surgiu também, de acordo com a área, a necessidade de se estudar sobre pontes, uma vez que se tinha a presença do corpo hídrico Rio Goitá, e as estradas não poderiam ficar em cima de um Rio. Assim, os discentes precisaram não somente aprender sobre estradas, mas também sobre pontes.

Neste estudo, surgiu a necessidade de realizar a escolha de como resolver a situação do trajeto, como superar os espaços vazios que se estendiam entre duas elevações e o Rio, sendo a alternativa adotada uma ponte em formato de arco que soluciona o enigma e traz uma alternativa que considera a beleza do plano, uma ponte que pode ser concebida como um monumento e algo criativo para valorizar o lugar onde estiver, pensada igualmente para ser ecologicamente equilibrada, pois não interfere no fluxo do Rio e reduz os perigos de danificar os pilares com detritos, além de atravessar sem afetar as vias locais já existentes, ainda é eficaz em transpor o espaço.

Figura 6: Tipos de pontes avaliadas como possíveis escolhas para transpor o vão do Rio Goitá

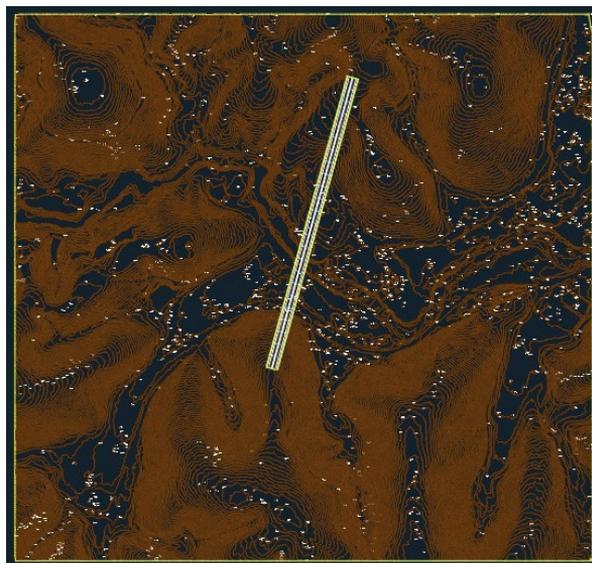


Fonte: Toshiaki (2019)

Por fim, com a junção de todos esses itens pesquisados, discutidos entre o grupo, consultados com outros professores especialistas, os alunos fizeram a modelagem da sua própria ponte em arco, levando em consideração o relevo, as condições do local, o leito do Rio, o fluxo de carros e a própria durabilidade das estradas e demais estruturas. Para isso, utilizaram o **software** Civil 3D, com o apoio das informações gratuitamente cedidas pelo PE3D.

Após a escolha do tipo da ponte, foi detectado um problema quanto a sua inclinação por conta da altura dos taludes no projeto original. O que gerou um redirecionamento para evitar cortes e aterros, driblando gastos desnecessários e diminuindo impactos ambientais. Uma otimização adicional proporcionada por essa alternativa foi a diminuição do número de cumes que a ponte teria que atravessar, reduzindo de quatro para dois.

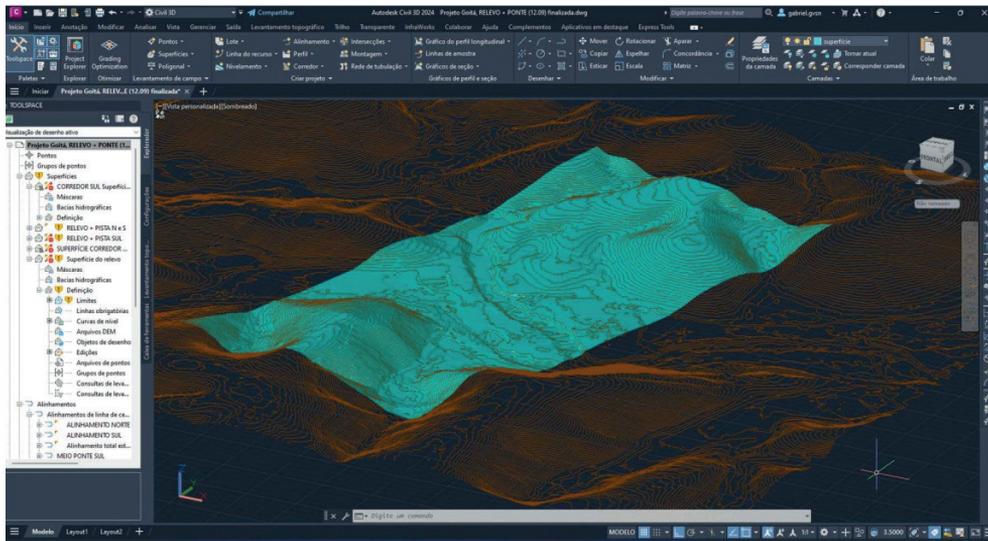
Figura 7: Redirecionamento proposto pelos alunos projetistas, reduzindo de quatro cumes para dois e diminuindo os custos de projeto



Fonte: os Autores (2023)

Com todos os aspectos teóricos definidos, fez-se necessário obter uma representação gráfica em 3D do projeto com o intuito de apresentar um recurso visual mais próximo possível da realidade. Através do **software** livre Qgis, foi possível fazer uso do arquivo MDT, modelo digital do terreno, para extrair as curvas de nível e modificá-las no **software** de projeto Autodesk Civil 3D.

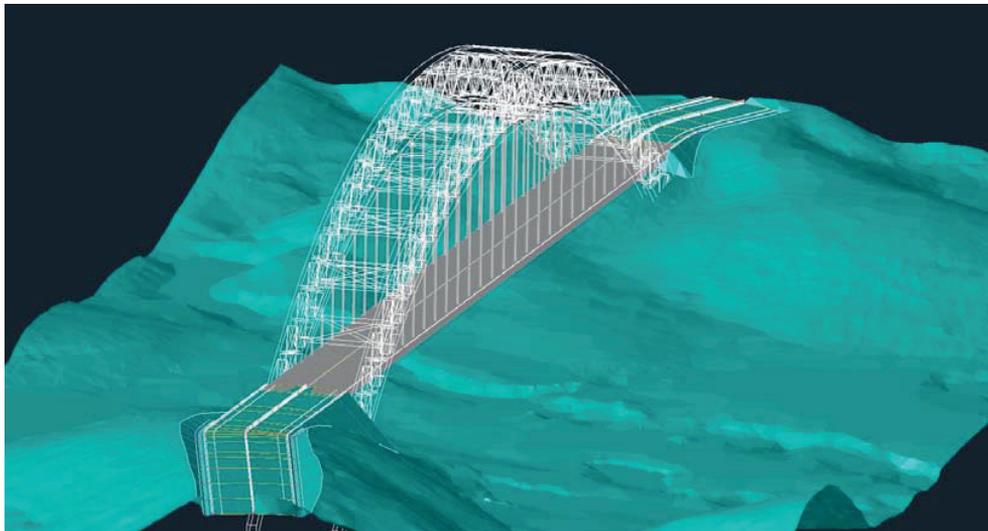
Figura 8: Curvas de nível transformadas em superfície no software Civil 3D



Fonte: os Autores (2023)

A obtenção da superfície forneceu uma base para a colocação da ponte de arco intermediário cabeada, passando por cima do Rio Goitá.

Figura 9: Ponte em arco projetada pelo grupo do projeto do Goitá

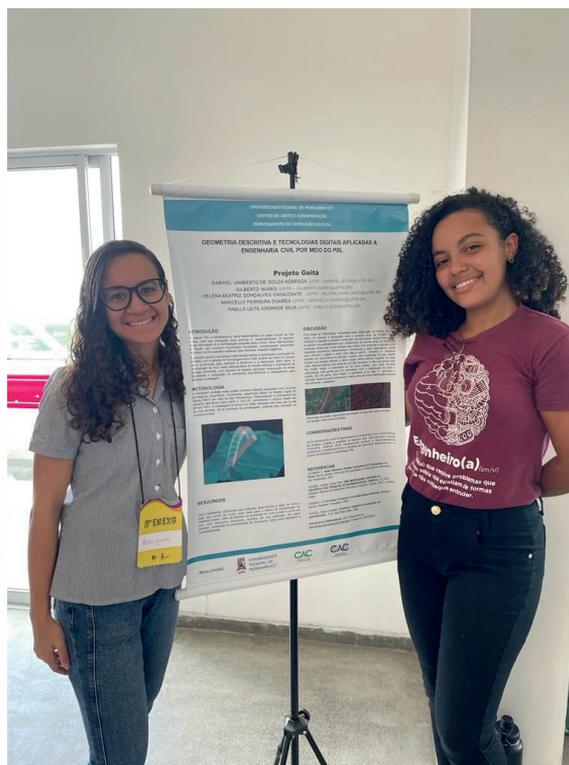


Fonte: os Autores (2023)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa final da disciplina atingiu seu ápice por meio da elaboração de um artigo, que, vale ressaltar, foi publicado internamente na disciplina e no Departamento de Expressão Gráfica da Universidade Federal de Pernambuco, demonstrando não apenas o domínio dos conhecimentos adquiridos, mas também o compromisso com a disseminação do saber na esfera acadêmica. Além disso, destaca-se a criação de um banner, apresentado de forma destacada nas dependências da UFPE, especificamente no 8º Encontro de Extensão e Cultura da Universidade Federal de Pernambuco (ENEXC), bem como na Semana Nacional de Ciência e Tecnologia de 2023 (SNCT) - Polo Cecine. Essa participação em múltiplos eventos consolida o impacto e a visibilidade do trabalho desenvolvido durante o curso, contribuindo significativamente para a promoção do conhecimento científico e acadêmico.

Figura 10: Apresentação do banner no 8º ENEXC



Fonte: os Autores (2023)

Ao término do curso, é incontestável o notável avanço no aprendizado, tanto prático quanto teórico, alcançado pelos alunos. O programa inicial da disciplina EG003 Geometria Descritiva 2 proporciona ao Desenho Técnico os alicerces geométricos fundamentais e as relações matemáticas rigorosas necessárias para uma representação precisa de objetos tridimensionais. Tópicos fundamentais, como Ponto, Reta e Plano, são abordados de maneira abrangente. No entanto, é importante notar que, inicialmente, esses conceitos eram transmitidos exclusivamente por meio do método tradicional de ensino, marcado por aulas expositivas e avaliações diretas de conteúdo. Em contraste, a metodologia ativa do PBL concede autonomia aos estudantes, posicionando-os como protagonistas na construção do conhecimento, moldando profissionais munidos de habilidades essenciais demandadas pelo mercado de trabalho da Engenharia Civil.

A combinação entre o método PBL e o tradicional, introduzida pelos professores José Edeson de Melo Siqueira e Jean-Baptiste Scharffhausen, resultou em um aprimoramento significativo no conhecimento da turma. Este aprimoramento não se limitou apenas à manipulação de **softwares**, mas também incluiu uma profunda exploração de áreas que serão abordadas futuramente no curso de Engenharia Civil, ultrapassando assim a carga teórica prevista na ementa.

Uma conquista adicional proveniente desta disciplina é a abertura de portas para submissões em eventos científicos e o estímulo ao desenvolvimento de projetos de extensão. Este cenário não apenas enriqueceu a experiência acadêmica, mas também possibilitou uma participação ativa dos alunos no panorama da pesquisa acadêmica, solidificando assim sua inclusão no cenário científico.

Em resumo, a integração inteligente do método PBL com o método de ensino tradicional não apenas impulsionou o desenvolvimento prático e teórico dos alunos, mas também abriu horizontes para oportunidades significativas de pesquisa e desenvolvimento, destacando a relevância e impacto dessa abordagem na formação dos futuros engenheiros civis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bem-sucedida integração do método PBL na Geometria Descritiva, conforme destacado neste estudo no contexto do curso de Engenharia Civil, não apenas valida sua eficácia nesse domínio específico, mas também aponta para um horizonte promissor em sua aplicação em diversas áreas. Ao considerar a expansão

do PBL para disciplinas predominantemente teóricas, torna-se imperativo um cuidado rigoroso. Essa adaptação inteligente necessita de um equilíbrio preciso entre a abstração teórica e a aplicação prática, garantindo que os estudantes não apenas compreendam profundamente os conceitos fundamentais, mas também explorem sua relevância no contexto real.

Essa adaptação inteligente demanda um equilíbrio delicado entre a abstração teórica e sua implementação prática. É essencial garantir que os estudantes não apenas absorvam profundamente os conceitos fundamentais, mas também se engajem na exploração de sua relevância e aplicabilidade no contexto real. Expandir o método PBL para áreas mais teóricas pode ser desafiador, requerendo estratégias adaptativas que preservem a integridade conceitual enquanto fomentam a conexão entre teoria e prática.

Nesse sentido, a implementação bem-sucedida do PBL pode demandar ajustes na estrutura educacional, promovendo ambientes de aprendizado dinâmicos e interativos. Estratégias pedagógicas inovadoras, como a utilização de estudos de caso, projetos práticos e colaborativos, podem ser fundamentais para a eficácia do método em disciplinas menos voltadas à aplicação imediata.

Além disso, o papel do educador é fundamental na facilitação desse processo de transição. Professores devem atuar como guias, estimulando o pensamento crítico e a investigação, encorajando a autonomia e a resolução de problemas, elementos-chave do PBL. Sua orientação é crucial para auxiliar os alunos a navegar entre a teoria e a prática, garantindo uma compreensão holística e profunda dos conteúdos.

Portanto, ao expandir o método PBL para disciplinas teóricas, é fundamental reconhecer não apenas os benefícios potenciais, mas também os desafios inerentes a essa transição. Uma abordagem cuidadosa e adaptativa, aliada ao suporte pedagógico eficaz, pode ser a chave para a implementação bem-sucedida do PBL em contextos educacionais diversos e teoricamente desafiadores.

REFERÊNCIAS

COIMBRA, C. **Visão Histórica e Análise Conceitual dos Transportes no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Publicações do Ministério dos Transportes, 1974.

COSTA, L. R. J., Honkala, M. & Lehtovuori, A. **Applying the Problem-Based Learning Approach to Teach Elementary Circuit Analysis.** IEEE Transactions on Education, v. 50, n. 1, p. 41-48, 2007.

DEBS, Mounir; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às pontes de concreto.** Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

RIBEIRO, Luis Roberto. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia.** Revista de Ensino de Engenharia, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008.

RIMA - **Arco viário da região metropolitana do Recife.** Pernambuco tridimensional, 2016. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php>. Acesso em: 05/09/2023.

SOARES, Claudio Cesar Pinto: **Uma abordagem histórica e científica das técnicas de representação gráfica.** In: XVIII Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 2007, Curitiba. Anais.

THOMAS, J.W. **A review of research on project-based learning.** Relatório técnico. Autodesk Foundation, 2000.

VITÓRIO, José Afonso Pereira, D.Sc. - **Pontes e viadutos rodoviários: Conceituação, Conservação, Segurança e Reforço Estrutural,** Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.