



METODOLOGIAS NUMÉRICA, COMPUTACIONAL E EXPERIMENTAL NO PROCESSO ENSINO/APRENDIZAGEM DAS DISCIPLINAS DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE, MECÂNICA DOS FLUIDOS E DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Bruno Furieri – bruno.furieri@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Coord. de Eng. Sanitária e Ambiental
Av. Vitória, 1729
29040-780 – Vitória – ES

Enilene Regina Lovatte – enilene.lovatte@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Coord. de Segurança do Trabalho
Av. Vitória, 1729
29040-780 – Vitória – ES

Maria Clara Schwartz Ferreira Caliman – mcaliman@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Coord. de Matemática
Av. Vitória, 1729
29040-780 – Vitória – ES

Melina Barbosa Peixoto – melina.peixoto@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Coord. de Segurança do Trabalho
Av. Vitória, 1729
29040-780 – Vitória – ES

Marisa Cruz Coser – marisa@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, Coord. de Segurança do Trabalho
Av. Vitória, 1729
29040-780 – Vitória – ES

Israel Bahia Costa – isbahia@hotmail.com

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Ambiental
Av. Fernando Ferrari, 514
29075-910 – Vitória – ES

Lya Lugon Cornejo Von Marttens – lya.lugon@yahoo.com.br

Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Ambiental
Av. Fernando Ferrari, 514
29075-910 – Vitória – ES

Resumo: Este artigo apresenta propostas metodológicas para o ensino de disciplinas do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental: fenômenos de transporte, mecânica dos fluidos e

Organização



Promoção





dispersão atmosférica. O foco é a aplicação de diferentes ferramentas no processo ensino-aprendizagem e como essas disciplinas e ferramentas interagem ao longo do curso. Tais ferramentas visam facilitar a obtenção de resultados consistentes para problemas físicos clássicos tradicionalmente estudados no conteúdo das disciplinas. São detalhadas as etapas constantes da metodologia e apresentados resultados obtidos em trabalhos desenvolvidos nas disciplinas. As ferramentas mostram-se eficazes e bastante adequadas no ensino/aprendizagem.

Palavras-chave: *Dinâmica dos Fluidos Computacional, Engenharia Ambiental, Simulação Numérica, ensino de engenharia.*

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia é uma área de conhecimento que surgiu da necessidade do homem de aumentar sua capacidade de produção e suprir suas necessidades de conforto e bem-estar. Esse processo, que se intensificou com a revolução industrial, atualmente vive uma época de intensas mudanças. A necessidade de novos produtos, preocupação com o crescimento econômico, contribuição social, conhecimento do contexto mundial e questões ambientais, atualmente são aspectos implícitos na formação profissional.

Em áreas relativamente novas, como Engenharia Ambiental, o professor mais do que qualquer outra área, necessita desenvolver ferramentas que estimulem, facilitem e agilizem o processo ensino-aprendizagem. As técnicas utilizadas mudam com uma velocidade assustadora. Assim, o profissional da área, deve atender essa demanda, sendo capaz de compatibilizar as intervenções com a conservação ambiental, fazendo uso evidentemente daqueles conhecimentos adquiridos ao longo de toda a sua vida acadêmica.

O curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental possui uma matriz curricular multidisciplinar, englobando as áreas de ciências biológicas, exatas e sociais. Aulas de física, matemática e química se mesclam com aulas de geologia, hidrologia, ecologia e topografia. Os dois primeiros anos de curso incluem matérias comuns a todos os cursos de Engenharia. Em seguida, são ministradas matérias com conteúdo mais específico. As disciplinas de fenômenos de transporte, mecânica dos fluidos fazem parte do núcleo de disciplinas da engenharia, enquanto a disciplina de dispersão atmosférica é oferecida como disciplina específica do curso.

Trabalhos na área podem envolver (i) amostragens e medições no ambiente ou diretamente na fonte emissora, (ii) métodos analíticos e experimentos de campo para estimativas de emissões e da dispersão do poluente na atmosfera e (iii) simulações numéricas (área denominada Dinâmica dos fluidos computacional ou CFD).

Em uma concepção inovadora da educação, o professor não se limita apenas ao ensino, mas é aquele que é capaz de transmitir o conhecimento a diversidade de alunos, motivando-os para que construam suas oportunidades (SILVA e CECILIO, 2007).

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é apresentar estratégias de ensino-aprendizagem utilizadas nas disciplinas de fenômenos de transportes, mecânica dos fluidos e dispersão atmosférica do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, a partir de metodologias que particularizam o fenômeno, facilitando a associação de equações matemáticas complexas com situações práticas da Engenharia.



2 ESTUDO DE CASO: O USO DE EXPERIMENTOS DE LABORATÓRIO E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS CLÁSSICOS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

Nessa secção são apresentadas as metodologias utilizadas e resultados obtidos em trabalhos desenvolvidos pelos alunos das disciplinas fenômenos de transporte, mecânica dos fluidos e dispersão atmosférica.

O fluido é composto por moléculas em movimento constante, podendo ser um líquido ou gás. A água e o ar são fluidos estudados nas disciplinas cujos trabalhos são referenciados nesse estudo. Em escoamentos de fluidos, oscilações de pressão, gradientes de temperatura, rugosidade superficial e características geométricas podem gerar perturbações que tendem a gerar oscilações no campo de velocidade do escoamento. Assim, pequenas alterações nesses parâmetros podem promover mudanças significativas no escoamento.

Uma característica importante do fluido é a viscosidade. A viscosidade tende a reduzir os efeitos destas perturbações e dissipar as oscilações. Estas oscilações são amortecidas se os efeitos viscosos forem grandes o suficiente, o escoamento é dito laminar. Se, no entanto, se os esforços viscosos não forem fortes o suficiente para amortecer as oscilações em relação às forças inerciais, as instabilidades geradas provocam movimento de rotação.

O número de Reynolds dá a medida da relativa importância das forças de inércia (associadas ao efeito convectivo) e forças viscosas. Valores acima do Reynolds denominado crítico conduzem a escoamentos turbulentos. Grandes valores de Reynolds significam que as forças de inércia dominam em relação às forças viscosas. Esse parâmetro caracteriza o tipo de escoamento: laminar ou turbulento.

A visualização de um escoamento não é fácil como nas trilhas de um avião a jato ou da espuma que se forma na passagem de uma embarcação no mar. Às vezes são necessárias estratégias matemáticas para formalizar a relação entre grandezas físicas (temperatura, pressão, densidade) e o fenômeno, para então se ter a visualização do escoamento. Feita a visualização, é possível prever o comportamento do fenômeno em diferentes situações variando-se estas grandezas.

As equações de Navier Stokes são equações diferenciais que descrevem o escoamento de fluidos Newtonianos. Essas equações permitem determinar os campos de velocidade e de pressão em um dado escoamento. A dificuldade de encontrar estas soluções decorre do fato de serem equações parciais não lineares, sendo difícil matematicamente obter solução analítica para condições de contorno gerais. As soluções numéricas são técnicas matemáticas utilizadas na solução de problemas que não podem ser resolvidos ou que são difíceis de resolver de forma analítica.

O presente estudo apresenta a metodologia e resultados de trabalhos desenvolvidos pelos alunos de três disciplinas do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Inicialmente é apresentado o experimento de laboratório com viscosímetro caseiro para determinação da viscosidade do fluido. Em seguida, são apresentadas as simulações numéricas que estudam escoamento ao redor de obstáculos na disciplina de mecânica dos fluidos utilizando código comercial Fluent – Ansys. Finalizando, são apresentadas os resultados e métodos utilizados no estudo da dispersão de poluentes, da disciplina de dispersão atmosférica, utilizando o AERMOD.



2.1 Fenômenos de Transporte

Na disciplina de transportes são estudadas a transferência de quantidade de movimento, energia e matéria. O assunto inclui as disciplinas de dinâmica dos fluidos, a transferência de calor e a transferência de massa. A primeira trata do transporte da quantidade de movimento, a segunda, do transporte de energia, enquanto que a terceira, do transporte (transferência) de massa entre as espécies químicas.

A viscosidade é a propriedade dos fluidos correspondente ao transporte microscópico de quantidade de movimento por difusão molecular (BIRD, 2002). Ou seja, quanto maior a viscosidade, menor será a velocidade em que o fluido se movimenta. É a propriedade física que caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento, a uma dada temperatura. Define-se pela lei de Newton da viscosidade:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

onde τ é a taxa de deformação angular do fluido, enquanto que a constante μ é o coeficiente de viscosidade, viscosidade absoluta ou viscosidade dinâmica. Muitos fluidos, como a água ou a maioria dos gases, satisfazem os critérios de Newton e por isso são conhecidos como fluidos newtonianos. Os fluidos não newtonianos têm um comportamento mais complexo e não linear (BERTULANI, 2017).

As suspensões coloidais, as emulsões e os géis são exemplos de fluidos não newtonianos, como o sangue, o ketchup, as suspensões de amido, as tintas e o petróleo. O coeficiente de viscosidade desses fluidos não é constante. Viscosidade é a propriedade associada à resistência que o fluido oferece a deformação por cisalhamento.

De outra maneira pode-se dizer que a viscosidade corresponde ao atrito interno nos fluidos devido basicamente a interações intermoleculares, sendo em geral função da temperatura. É comumente percebida como a "grossura", ou resistência ao despejamento. Viscosidade descreve a resistência interna para fluir de um fluido e deve ser pensada como a medida do atrito do fluido. Assim, a água é "fina", tendo uma baixa viscosidade, enquanto óleo vegetal é "grosso", tendo uma alta viscosidade.

Resultados obtidos na determinação da viscosidade

Inicialmente foi dada a orientação sobre conceitos e expressões relacionados ao trabalho a ser desenvolvido, que tem como objetivo a determinação da viscosidade dos fluidos através de um viscosímetro capilar. As substâncias utilizadas foram água e uma solução de água com trigo.

No experimento foram utilizados como materiais: garrafa de água mineral de 1,5 L; canudo, tesoura, régua, cronômetro, fitas adesivas, estilete, caneta e cola.

Foi utilizada uma garrafa pet de água de 1,5 L, o canudo de 0,5 mm de diâmetro foi fixado em um furo feito o mais próximo possível do fundo da garrafa conforme ilustrado na Figura 1. A junção foi bem vedada de forma que o escoamento ocorresse somente pelo canudo. A marcação iniciou no ponto que foi fixado o canudo até o ponto máximo de 20 cm. Posteriormente encheu-se a garrafa com o primeiro fluido, tomando cuidado para não haver vazamento, foi utilizado a água e liberou-se o escoamento pelo canudo fazendo medições do



tempo à medida que o nível da superfície baixasse de 1 cm em 1 cm. O processo foi repetido três vezes para a água e para o segundo fluido (solução água com trigo).

Figura 1 – Viscosímetro capilar caseiro desenvolvido pelos alunos da disciplina de fenômenos de transporte



Na Figura 2 e 3 são apresentados os resultados do experimento, utilizando-se água e água e trigo.

Figura 2 – Gráfico altura x tempo para água

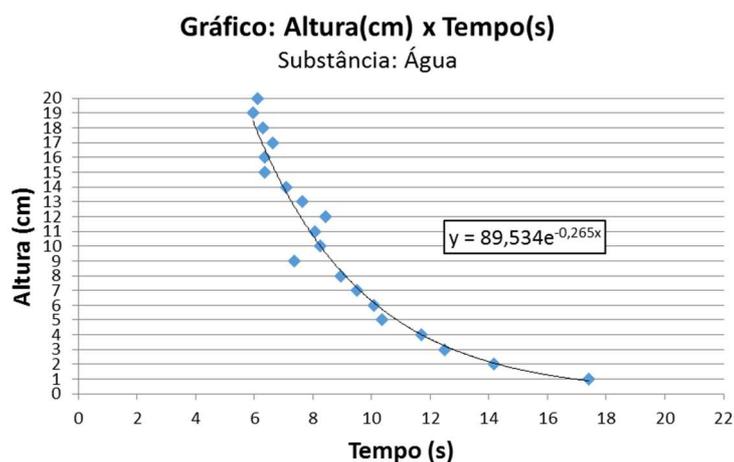
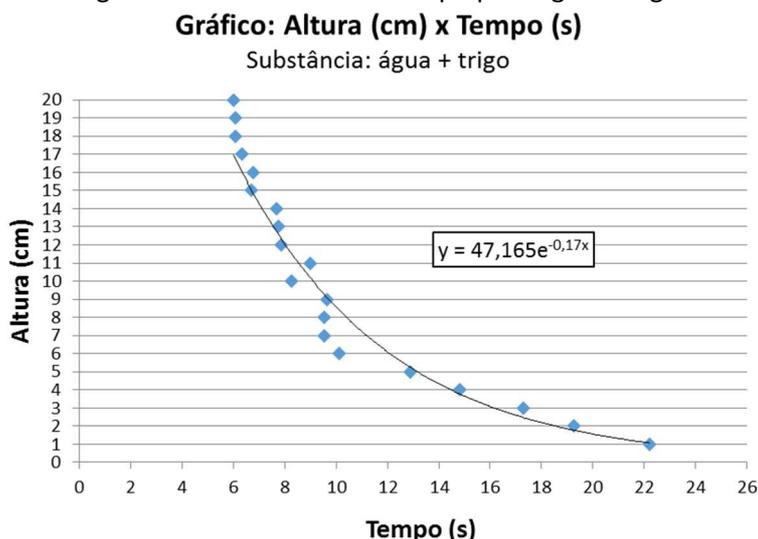




Figura 3 – Gráfico altura x tempo para água e trigo



Com a montagem do viscosímetro e os conhecimentos adquiridos sobre o volume de controle foi possível o cálculo da viscosidade de qualquer fluido. Utilizando a equação encontrada e substituindo os valores fixos do problema, que são R (raio do canudo = 0,025 m) e L (comprimento do canudo = 22,5 cm).

O valor encontrado para a viscosidade experimental foi $\mu = 0,01284067$ Pa.s. A viscosidade teórica possui o valor de ($\mu = 1,0030 \cdot 10^{-3}$ Pa.s). O erro pode ser devido à construção do viscosímetro, na marcação do tempo quando o fluido escoar entre outros motivos manuais. A viscosidade da segunda substância (água mais trigo) foi obtida como $\mu = 0,0200016339$ Pa.s. Nesse caso, sem valor teórico de referência.

2.2 Mecânica dos Fluidos

A mecânica dos fluidos estuda o comportamento físico dos fluidos e as leis que regem tal comportamento, podendo o fluido estudado (ar e água) estar em repouso ou em movimento (ANGELO, 2006).

Cada vez mais a Mecânica dos Fluidos tem crescido em importância, devido à aplicabilidade de seus estudos na simulação do comportamento dos fluidos na natureza.

O estudo do escoamento dos fluidos pode se tornar muito complexo, sendo necessárias à aplicação de equações robustas ou a simplificação de algumas condições de contorno do fluido, aspectos estudados e analisados pela Mecânica dos Fluidos.

Estes estudos e simulações do comportamento do fluido podem ser aplicados em situações reais, tais como a dispersão de um poluente sólido em um corpo d'água ou na atmosfera, o comportamento de um reagente químico adicionado a uma tubulação por onde passa um fluxo de água, a atuação do fluxo de ar que passa pela asa de um avião, dentre outros. Além disso, a adição de um obstáculo em um escoamento pode gerar áreas de vórtice, perda de velocidade e



de estabilidade do fluxo e regiões de aumento da pressão do fluido sobre o obstáculo, um prédio, por exemplo.

O trabalho desenvolvido na disciplina de mecânica dos fluidos teve como objetivo principal, investigar o comportamento do escoamento de fluidos em ambientes com obstáculos. Mesmo de posse à teoria da Mecânica dos Fluidos, a complexidade dos cálculos exige um esforço computacional para a obtenção das soluções numéricas, que atualmente se tornaram possíveis graças aos avanços dos recursos computacionais e do surgimento de novas técnicas numéricas.

Desta forma, no trabalho, para analisar as variações de velocidade e pressão da água em torno de um obstáculo cúbico, foi utilizado o software ANSYS Fluent no auxílio desses cálculos para a modelagem computacional do fluido.

Resultados obtidos na visualização do escoamento

O software ANSYS Fluent possui amplas capacidades de modelagem física necessárias para modelar o escoamento, turbulência, transferência de calor, além de outras reações para aplicações industriais, como a dispersão do calor da combustão em um forno, a análise da formação de colunas de bolhas em tubulações de plataformas de petróleo, o estudo do escoamento de fluidos em sistemas polifásicos, dentre outros exemplos. Nele, é possível ao usuário utilizar definições prévias ou personalizar as condições do fluido estudado (viscosidade, densidade, velocidade, etc.), além de criar a geometria do campo de escoamento e do obstáculo e gerar e refinar a malha computacional, cujas células representam n volumes de controle do fluido definidos previamente.

A configuração solver e os recursos de pós-processamento do ANSYS Fluent tornam mais fácil a interrupção de um determinado cálculo para análise de resultados parciais, com o pós-processamento integrado. Permite também alterar qualquer configuração durante a interrupção e, em seguida, continuar o cálculo dentro de uma única aplicação.

Nas Figuras 4 e 5 é possível observar a distribuição de pressão no obstáculo cúbico e na base do escoamento, e notar que os maiores valores de pressão estão na zona de estagnação, região de tom vermelho, onde o fluido sofre o choque com o obstáculo. Nota-se também que onde há o descolamento do fluido, apresenta-se pressões negativas (regiões em azul escuro). Para a visualização da velocidade do escoamento ao longo do eixo x, foi criado um plano auxiliar longitudinal a este eixo, passando pelos centros do canal e do obstáculo.

Figura 4 – Pressão estática do fluido sobre o obstáculo cúbico (visão geral)

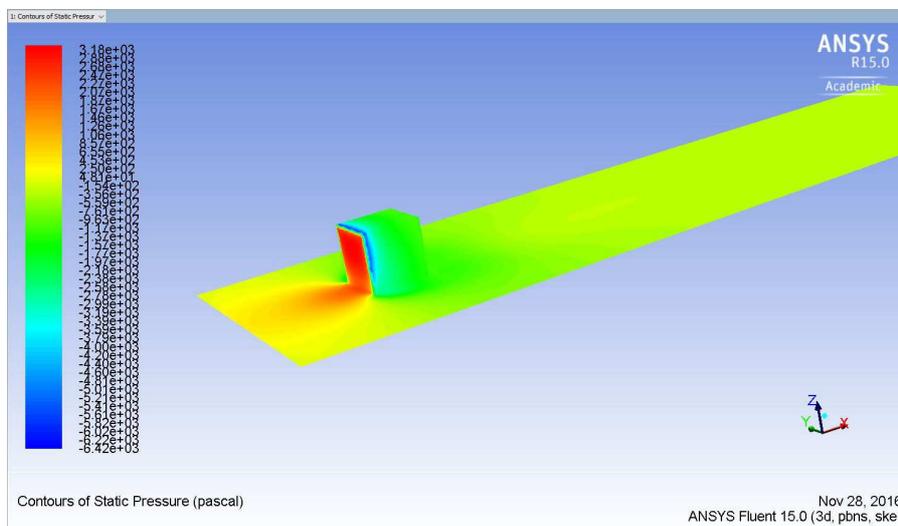
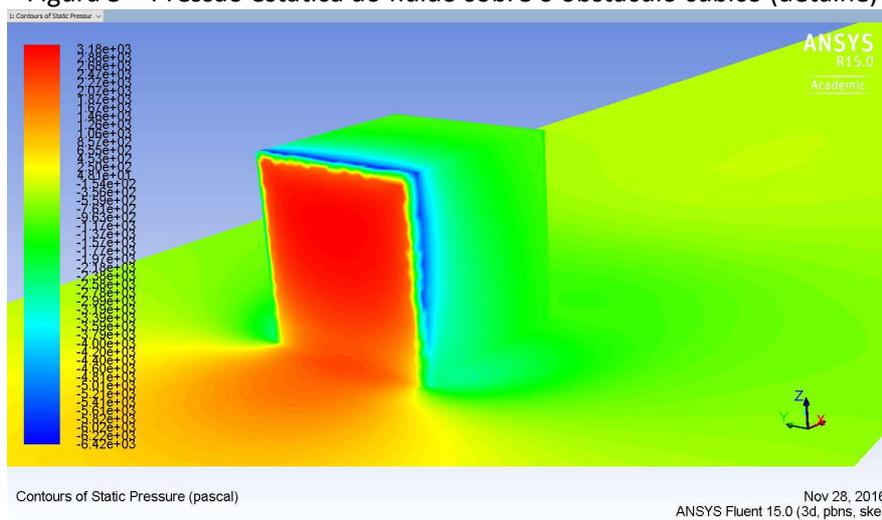


Figura 5 – Pressão estática do fluido sobre o obstáculo cúbico (detalhe)



Na representação em vetores velocidade apresentada nas Figuras 6 e 7, algumas zonas do escoamento ficam bem nítidas também, como a zona de recirculação a jusante do obstáculo, onde se observa vetores em vários sentidos, formando círculos. Também é possível notar com clareza a zona de descolamento na aresta superior esquerda do cubo, nesta vista lateral. Essas imagens facilitam o entendimento do fenômeno, e possibilitam a visualização de como a presença de prédios modifica de forma considerável, a velocidade do vento, e, por conseguinte, a concentração de poluentes nos grandes centros. Entendido o fenômeno, o aluno pode simular diversas situações e definir ações de controle a partir dos resultados obtidos. Essas são situações muito próximas daquelas que ele irá vivenciar como profissional.

Organização

Promoção



Figura 6 – Vetores velocidade no plano auxiliar central e no obstáculo.

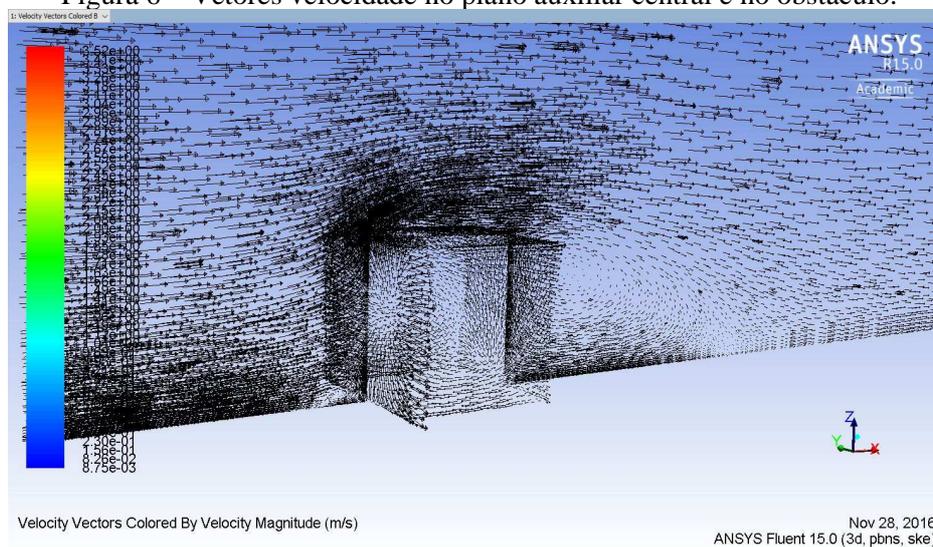
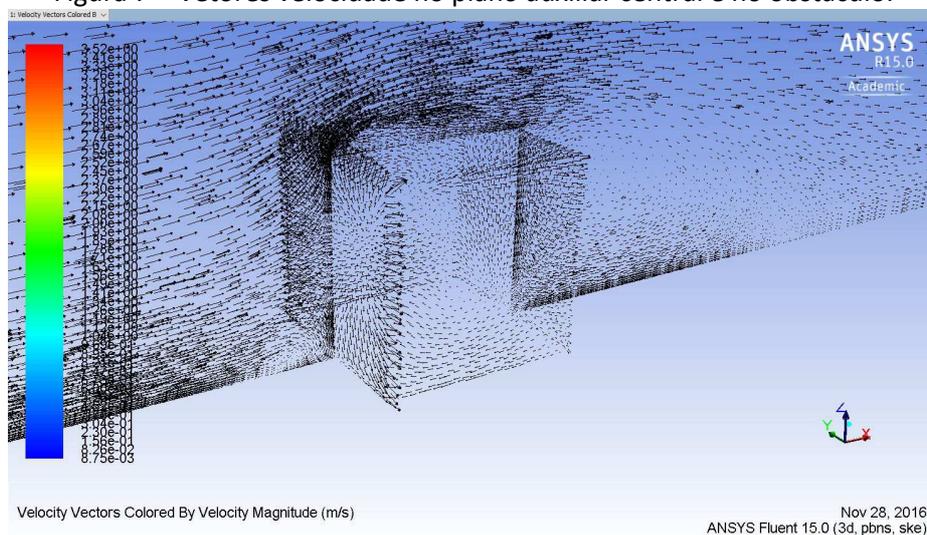


Figura 7 – Vetores velocidade no plano auxiliar central e no obstáculo.



Ao final deste projeto, os alunos puderam concluir que a presença de um obstáculo afeta em magnitude significativa o comportamento de um escoamento, gerando estruturas que podem afetar a concentração de espécies químicas em certas zonas, bem como promover a dispersão em outras áreas. O obstáculo cúbico, por sua geometria, é um dos obstáculos que mais influenciam em um escoamento, uma vez que não possui superfícies abauladas que poderiam amenizar a geração das estruturas de vórtice, região de descolamento, entre outros. Para o presente trabalho também pode-se concluir que o Fluent é uma ferramenta de grande valia para prever e estudar os escoamentos, auxiliando na estruturação de projetos nas áreas de engenharia e especialmente nos nossos cursos.

Organização



Promoção





2.3 Dispersão Atmosférica

A qualidade do ar em ambientes urbanos tem sido uma das maiores preocupações dos gestores ambientais. Na disciplina de dispersão atmosférica realizou-se a modelagem matemática gaussiana da dispersão de poluentes na atmosfera com o software AERMOD de quatro tipos de fontes (duas pontuais e duas de área) distintas na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV): indústria de cerâmica, indústria de papel e celulose, veículos e produção de odores em estações de tratamento de esgoto. O principal objetivo do trabalho foi discutir a dispersão de poluentes em uma região metropolitana face a complexidade de sua modelagem.

Resultados obtidos na dispersão de poluentes

O AERMOD utiliza-se de dois pré-processadores nas etapas de modelagem matemática da dispersão atmosférica: o AERMET e o AERMAP. O AERMET consiste em um pré-processador de dados meteorológicos, calculando os parâmetros da camada limite planetária necessários para a quantificação da dispersão no AERMOD. Já o AERMAP faz um pré-processamento de dados do terreno localizando no domínio computacional as principais fontes emissoras e os receptores, fornecendo posteriormente, dados de caracterização do terreno e uma malha receptora para o modelo de dispersão AERMOD (EPA, 2004).

Para cada poluente selecionado (PTS, CO e NO_x), o processo de dispersão para domínio de influência delimitado foi simulado, sendo as emissões provenientes de três fontes pontuais (Chaminé 1, Chaminé 2 e Chaminé 3) em três cenários distintos, sendo eles: (1) sem a presença de obstáculos; (2) com a presença de obstáculos com altura H₁ = 30 m e (3) com a presença de obstáculos com H₂ = 60m. Para efeitos de comparação com o Decreto nº 3463-R, os poluentes foram simulados para médias de 24h para PTS; de uma hora e oito horas para CO e de uma hora e um ano para NO_x.

Quanto aos resultados de modelagem de dispersão obtidos destacam-se: (i) obstáculos com maior altura tiveram grande influência sobre a dispersão promovendo o fenômeno de abaixamento da pluma (*downwash*) e conseqüentemente concentrações mais elevadas no solo, (ii) no estudo de fontes localizadas próximas à costa mostrou-se a importância em se avaliar a localização de um conjunto de fontes anteriormente à implantação de um empreendimento, (iii) emissões veiculares possuem cálculo complexo de taxa de emissão que é bastante dependente da frota circulante e do fator de emissão e (iv) a modelagem da dispersão do gás odorante H₂S mostrou-se bem adequada visto que a pluma calculada possui boa concordância com o que é rotineiramente observado pela população nesta mesma região de estudo.

Na Figura 8 é apresentada a topografia de uma região de estudo. O aluno pode verificar através da simulação cujo mapa de isolinhas representado na Figura 10, o comportamento do poluente SO₂ típico de fábrica de celulose. O mesmo acontece com todos os outros processos investigados.

Verificando a contribuição de cada fonte foi possível observar que a concentração de SO₂ foi mais acentuada no município de Vila Velha quando comparada ao município da Serra, tanto para máxima concentração média de um dia quanto para anual e isso se deve a predominância



dos ventos na direção nordeste e a existência da fonte do município de Serra estar mais próxima à costa.

Figura 8 – Topografia da região município da Serra com localização das fontes emissoras

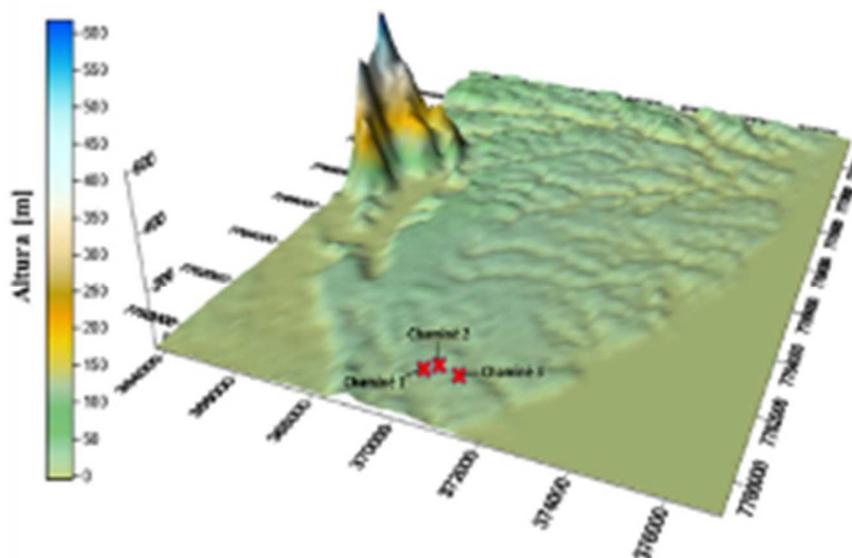
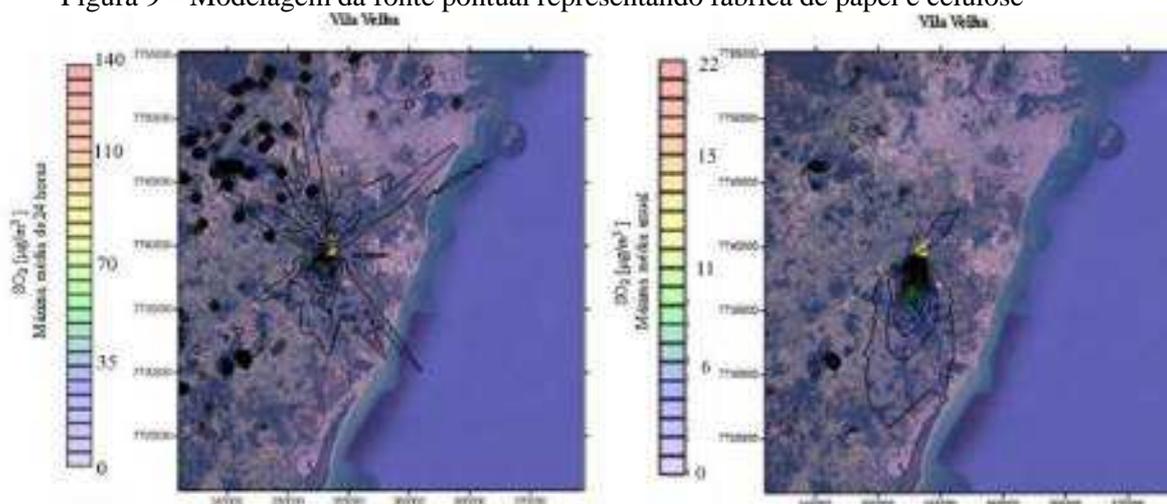


Figura 9 – Modelagem da fonte pontual representando fábrica de papel e celulose



A utilização de software possibilitou durante o desenvolvimento da disciplina, a resolução e estudo das diversas variáveis envolvidas no fenômeno da dispersão de poluentes. Além disso, existe o aspecto de atendimento aos padrões que é de extrema importância na implantação de



novos empreendimentos. O engenheiro ambiental deve tomar decisões diante dos resultados e o aluno aprende durante a disciplina como isso deve ser feito.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As disciplinas de fenômenos de transporte, mecânica dos fluidos e dispersão atmosférica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária devem ser complementadas com o uso de ferramentas tais como as apresentadas nesse trabalho. Tais ferramentas facilitam o processo ensino-aprendizagem porque possibilitam a visualização do fenômeno físico facilitam o entendimento no caso do experimento de laboratório e as simulações do escoamento. Nas disciplinas de mecânica dos fluidos e dispersão atmosférica, perfis de velocidade e concentrações consistentes com os fenômenos estudados podem significar um bom entendimento, por parte do aluno, do significado físico das equações de conservação. O processo, então, é considerado parcialmente concluído. A partir deste ponto, esse aluno pode estender seu resultado, aumentando a complexidade do problema sempre com a orientação do professor.

No caso de fenômenos de transporte, perfis de viscosidades. Buscar novas ferramentas além das apresentadas nesse trabalho consiste em um ótimo exercício também para o professor, que deve trabalhar formas de ilustrar os problemas reais que, na prática, são bem mais complexos que os apresentados nesta metodologia. No entanto, na solução de problemas mais complexos de engenharia, o entendimento dos conceitos fundamentais é sempre muito importante, porque permite simplificações que torna a solução possível.

Diante de todos os resultados práticos apresentados pelo presente trabalho, a contribuição mais interessante talvez seja quanto à participação de professores e alunos na aplicação de diferentes metodologias em sala de aula. Assim, são formados gestores capazes de estudar as questões ambientais sob diversas óticas, além, evidentemente, de profissionais habilitados à aplicação dessas ferramentas.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Espírito Santo pelo apoio financeiro à realização deste artigo envolvendo docente e discentes de diversas coordenadorias da instituição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELO, E. Utilização da dinâmica dos fluidos computacional na complementação do ensino da disciplina de fenômenos de transporte. Anais do XXXIV COBENGE. Editora Universidade de Passo Fundo, 2006.

BERTULANI, Carlos. <Viscosidade>. www.if.ufrj.br. Consultado em 22 de abril de 2017.

BIRD, R. B., STEWART, W. E. e LIGHTFOOT, E. N. Fenômenos de Transporte. 2ª edição. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2002.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. AERMOD: *Description of model formulation*. EPA-454/R-03-002. 2004. 91 p., 2004

SILVA, Leandro P. e CECÍLIO, S., A mudança no modelo de ensino e de formação da engenharia, Educação em Revista, Belo Horizonte, v. 45. p. 61-80. jun. 2007.

Organização



Promoção





NUMERICAL, COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL METHODOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF TEACHING / LEARNING OF TRANSPORT PHENOMENA, FLUID MECHANICS AND ATMOSPHERIC DISPERSION

Abstract: *This paper presents methodological proposals for the teaching of courses in Sanitary and Environmental Engineering: transport phenomena, fluid mechanics and atmospheric dispersion. The main focus is the application of different tools in the teaching-learning process and how these disciplines and tools interact throughout the course. Such tools aim to facilitate the achievement of consistent results for classic physical problems traditionally studied in the subject contents. The steps in the methodology are detailed and results obtained in the work developed in the disciplines are presented. The tools are effective and quite adequate in teaching / learning.*

Key-words: *Computational Fluid Dynamics, Environmental Engineering, Numerical Simulation, Engineering Teaching.*

Organização



Promoção

