

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos

MEMORIAL DE ATIVIDADES ACADÊMICAS

Prof. Dr. Marinho Bastos Quadri

Progressão à classe E

Florianópolis, 15 de novembro de 2014

Sumário	Pág.
1. Identificação	1
2. Vínculo institucional	1
3. Formação Acadêmica/Titulação	1
3.1 Mestrado em Engenharia Mecânica	1
3.2 Doutorado em Engenharia Mecânica	2
4. Atividades de Ensino	3
4.1 Disciplinas de Graduação Ministradas	3
4.2 Disciplinas de Pós-Graduação Ministradas	3
4.3 Orientações de Iniciação Científica	3
4.4 Orientações de Mestrado (orientador principal)	5
4.5 Orientações de Doutorado (orientador principal)	7
5. Atividades de Pesquisa	8
5.1 Projetos de Pesquisa	10
5.2 Publicações	27
5.2.1 Artigos completos publicados em periódicos	27
5.2.2 Capítulos de livros publicados	31
5.2.3 Trabalhos publicados em anais de eventos (completo)	31
5.3 Patentes e Registros	46
5.4 Prêmios e Títulos	46
5.5 Bolsista de Produtividade do CNPq	47
5.6 Participação em Bancas	47
5.7 Coordenação de Conferência	47
6. Atividades de Extensão	47
6.1 Coordenação de Laboratório	47
6.2 Consultor Ad hoc	52
6.3 Membro de Órgão Colegiado	52
6.4 Coordenador de Pesquisa do EQA/CTC/UFSC	53
6.5 Projetos de Extensão	53

Memorial de Atividades Acadêmicas

1. Identificação

Nome: Marinho Bastos Quadri

Nascimento: 10/05/1959 - CAXIAS DO SUL/RS - Brasil

Endereço profissional: R. João Pio Duarte Silva, n 241 (fundos)

Córrego Grande - Florianópolis

88037-000, Brasil

Telefone: (48) 3721 2530

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,

Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos

UFSC - Campus Universitário - C.P.476

Telefone celular: (48) 9128 1959

Endereço eletrônico

E-mail para contato : marinho.quadri@ufsc.br

E-mail alternativo : mbq1959@hotmail.com

2. Vínculo institucional

Marinho Bastos Quadri, em 1982, foi efetivado como professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 1982, foi efetivado como professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no dia 21/02/1984. Sua admissão se deu por concurso público para preenchimento de vaga na área de Operações Unitárias da Engenharia de Alimentos para atuar no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, na época ainda em fase de implantação. Foi contratado inicialmente como Celetista passando posteriormente ao Regime Jurídico Único com a promulgação da Constituição de 1988. Desde então, até os dias de hoje, tem carga horária de 40 horas semanais em regime de dedicação exclusiva.

3. Formação Acadêmica/Titulação

3.1. Mestrado em Engenharia Mecânica (1984 – 1988)

Departamento de Engenharia Mecânica / UFSC – Brasil

Título: Dinâmica de Resposta de Tensiômetros: Desenvolvimento Experimental e Modelação Numérica

Ano da obtenção: 1988

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Philippi

Observação: o mestrado foi realizado em regime de afastamento parcial com dedicação de 20 horas semanais.

3.2. Doutorado em Engenharia Mecânica (1989 – 1993)

Université Joseph Fourier – Grenoble I, UJF, Saint-Martin-D'Hères, France

Título: *L'Infiltrométrie Multidisques Pour la Caractérisation Hydrodispersive des Sols Non Saturés: Modélisation des Transferts et Applications*

Ano de obtenção: 1993

Orientador: Jean Louis Thony

Resumo do trabalho

O foco ao longo de todo o trabalho está principalmente dirigido para a infiltrometria multi-discos aplicada aos problemas de transporte multidirecional de água e de solutos nos solos parcialmente saturados de água. Os aspectos estudados, em especial para as aplicações in-situ, englobam a precisão e a sensibilidade do método, o fenômeno da formação de crostas superficiais no solo, e o problema do contato hidráulico entre o infiltrômetro e o solo. Atualmente, o método conhecido por TRIMS (*“Triple Ring Infiltrometers at Multiple Suction”*), segundo a denominação introduzida pelo LTHE, é aplicado com três discos de raios diferentes. Este contexto impõe o estudo da solução quase-linear da infiltração em regime estacionário proposto por Wooding (1968). A fim de verificar a aplicabilidade desta solução quando as hipóteses de linearização não são respeitadas, as equações de transporte macroscópicas são resolvidas pelo método de diferenças finitas considerando uma geometria axissimétrica. Uma vez examinado o aspecto hidrodinâmico, o transporte de um soluto não interativo (traçador) é modelado tendo-se em conta os mecanismos de dispersão-convecção. A introdução de um soluto no escoamento com a ajuda de um infiltrômetro surge como uma abordagem promissora para o estudo das propriedades hidro-dispersivas e para a caracterização mais detalhada do regime de escoamento. Conclui-se que a infiltrometria multi-discos acoplada ou não às técnicas complementares de amostragem e de medidas laboratoriais se constitui em uma abordagem incontestavelmente interessante para o estudo suscitado. Além disso, o modelo-simulador parece se constituir em uma ferramenta de apoio ao método de caracterização na medida em que o mesmo pode conferir uma maior credibilidade às estimativas experimentais. Resta ainda sublinhar que a abordagem aqui adotada representa entretanto uma visão bastante simplista face à enorme complexidade da realidade física. Contudo, parece evidente que, no âmbito de aplicabilidade do modelo, os resultados obtidos permitiram colocar em evidência certas tendências perfeitamente realistas.

Sobre a defesa

A tese foi defendida em 23 de setembro de 1993, sendo aprovada com a menção “*très honorable avec félicitations du jury*”. Na documentação em anexo, o Rapport de thèse diz, entre outras passagens: “Au total, ce travail clair et bien rédigé est excellent”, em tradução livre: No todo, este trabalho, que está bem redigido e de maneira clara, é excelente.

4. Atividades de Ensino

Desde seu ingresso como professor da UFSC, Marinho Bastos Quadri tem ministrado diversos cursos de graduação para turmas de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. A partir de 1993, quando de seu retorno do doutorado na França, têm igualmente se dedicado à ministração de cursos de pós-graduação e à orientação de alunos nas modalidades de iniciação científica, mestrado e doutorado. Nos subitens a seguir, destacam-se as atividades mais relevantes.

4.1 Disciplinas de Graduação Ministradas

- Fenômenos de Transferência de Massa – EQA5417
- Operações Unitárias de Transferência de Calor e Massa – EQA5333
- Laboratório de Fenômenos de Transferência e Operações Unitárias II – EQA5532
- Operações Unitárias de transferência de Quantidade de Movimento - EQA5313
- Indústrias Químicas – EQA5214
- Cálculo de Reatores I – EQA5408
- Estágio Supervisionado – EQA5615
- Iniciação Científica – EQA5502

4.2 Disciplinas de Pós-Graduação Ministradas

- Métodos Matemáticos para Engenharia Química – ENQ3201
- Transferência de Massa – ENQ3251
- Secagem: Fenomenologia e Engenharia – ENQ3243
- Modelagem e Simulação de Escoamentos Multifásicos Aplicadas aos Processos da Indústria de Petróleo e Gás – ENQ410008

4.3 Orientações de Iniciação Científica

1. **Jeferson Giaretton**. Caracterização Vibroacústica de Vazamentos a Partir de Seções de Dutos Para Aplicação na Indústria de Petróleo e Gás. 2012. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

2. **Bruno Bottega Pergher**. Estudo de modelagem e simulação de sistemas óleo/água em ambiente subaquático. 2012. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

3. **Michele da Silva Barreto**. Uso e desenvolvimento de catalisadores heterogêneos orgânicos na produção de biodiesel a partir de resíduo de óleo de fritura. 2011. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

4. **Jeferson Giaretton**. Caracterização Vibroacústica de Vazamentos a Partir de Seções de Dutos Para Aplicação na Indústria de Petróleo e Gás. 2010. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

5. **Stella Vassoler Rosa**. Desenvolvimento de metodologias e materiais alternativos para a purificação do biodiesel. 2009. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

6. **Guilherme Bressiani Araldi**. Estudo da Produção de Biodiesel em Reator de Microondas. 2009. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

7. **Daniel Torquato Elias**. Produção de Biodiesel em Escala Piloto a Partir de Óleos e Gorduras Residuais Induzidos por Microondas. 2008. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

8. **Andrei Pavei Battisti**. Produção de Biodiesel em Escala Piloto a Partir de Óleos e Gorduras Residuais Induzidos por Microondas. 2008. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

9. **Gabriela Moraes da Silva**. Desenvolvimento de metodologias e materiais alternativos para a purificação do biodiesel. 2007. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

10. **Jeferson Correia**. Estudo de simulação CFD para escoamento bifásico imiscível. 2007. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

11. **Bárbara Yuri de Oliveira**. Estudo experimental e simulação de escoamento água-óleo em célula de Hele-Shaw. 2007. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

12. **Veridiana Gavanski**. Uso e desenvolvimento de catalisadores heterogêneos orgânicos na produção de biodiesel a partir de resíduo de óleo de fritura. 2007. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

13. **Sibele Recco Rosso**. Purificação Parcial de Antocianinas de uva (*Vitis vinífera*) Utilizando Sílica Amorfa como Adsorvente. 2005. Iniciação científica (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina

14. **Fabíola Christine Landine Nasatto**. Estudo da Estabilidade de Antocianinas Provenientes de Cebola Roxa. 2004. Iniciação científica (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina

15. **Kilça Tanaka Botelho**. Influência da Viscosidade no Contato Água-Óleo na Recuperação de Reservatórios. 2004. Iniciação científica (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

16. **Patrícia Alves Leal**. Estudo das condições de secagem de tomate em estufa. 2001. Iniciação científica (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina

17. **Daniel Rovaris**. Obtenção de parâmetros para desenvolvimento do projeto de um secador para cebola. 2001. Iniciação científica (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina

18. **Lilian Dutra Ferreira**. Estudo das alterações nas isotermas de sorção provocadas pela desidratação osmótica de alimentos. 2000. Iniciação científica (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina

19. **Daniela Fernanda Pitone Franco**. Desenvolvimento de um Modelo Numérico para o Processo de Ultrafiltração com Fluxo Tangencial. 1999. Iniciação científica (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina

20. **Elisangela Papst**. Estudo dos Parâmetros Relativos ao Transporte de Solutos no Solo. Aplicação ao Problema da Poluição Gerada pela Utilização de Pesticidas.. 1997. Iniciação científica (Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina

4.4 Orientações de Mestrado (orientador principal)

Concluídas:

1. **Débora Raquel Simioni**. Fluidodinâmica da liberação de óleo submerso em água: estudo experimental e de simulação. 2014. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

2. **Jônata de Bem Biehl**. Estudo da captura de vazamentos de óleo por meio de balões em ambientes subaquáticos. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

3. **Rossane Mailde Santos**. Estudo da secagem e do consumo de gás natural em uma rama têxtil de aquecimento direto. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

4. **Felipe del Mônaco dos Santos Lopes de Avelar**. Modelagem e Simulação da emissão de material particulado a partir da queima de bagaço em uma usina de açúcar e álcool. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

5. **Polliana Corrêa Moraes**. Detecção e caracterização de vazamentos durante escoamento contínuo fechado mediante técnicas vibroacústicas. 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

6. **Rafael Feller**. Estudo de modelagem semi-empírica para a captação de óleo em sistemas subaquáticos. 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

7. **Mariana Ferreira Sanches**. Caracterização física de soluções de inulina por análise de textura e comportamento reológico. 2010. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

8. **Flávia Morini Garcia**. Caracterização vibroacústica de vazamentos a partir de uma seção de duto para aplicações na indústria de petróleo e gás. 2010. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

9. **Gabriel Casemiro Mariano**. Estudo do Escoamento Imiscível Água/Óleo Mediante Experimentação em Célula de Hele-Shaw e Simulação CFD. 2008. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

10. **Raquel Manozzo Galante**. Extração de inulina a partir do alho (*Allium sativum* L. var. Chonan) e Simulação dos Processos em Batelada e em Leito Fixo. 2008. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

11. **Marcela Kotsuka da Silva**. Estudo de Modelagem Numérica Tridimensional de Ciclones Tipo Lapple para Separação Gás-Sólido. 2006. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

12. **Adriana Elaine da Costa**. Adsorção e Purificação de Corantes Naturais com Sílica Amorfa. 2005. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

13. **Marcelo Fonseca Xavier**. Estudo da Extração de Antocianinas em Colunas Recheadas. 2004. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

14. **Eliana Kátia Fiorese**. Estudo Experimental e de Modelagem da Fluidodinâmica em Sistemas Água-Óleo. 2004. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

15. **Toni Jefferson Lopes**. Adsorção de Antocianinas de Repolho Roxo em Argilas. 2002. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

16. **Carlos César Almeida Alves**. Deslocamento e Adsorção de um Pesticida (PCP) em um Solo Agrícola de Santa Catarina: Estudo Experimental e Simulação. 1998. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

17. **Ana Paula Santin**. Secagem e Inativação de Leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). 1996. Dissertação (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

Em andamento:

1. **Ianto Oliveira Martins**. Estudo de soluções para a melhoria da eficiência energética em processos de secagem nas indústrias que utilizam o gás natural como fonte de energia no estado de Santa Catarina. 2014. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

2. **Seldis Fernando dos Santos Junior**. Estudo da secagem de microalgas *Spirulina platensis* em leito de jorro. 2014. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

3. **Thauan Gomes**. Modelagem e simulação do avanço de ozônio em rejeito de mineração de carvão. 2014. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

4. **Fabio Miotto**. Desenvolvimento de um Misturador para o Reaproveitamento dos Gases de Exaustão. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

5. **Deise Parolo Tramontin**. Estudo da cinética do crescimento e identificação das condições favoráveis para o cultivo de microalgas. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

6. **Taysnara Simioni**. Estudo da secagem, acondicionamento e reidratação da microalga *Spirulina platensis*. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

7. **Camila da Silva Gonçalves**. Modelagem e simulação de um destilador de filme líquido descendente destinado às operações offshore de refino de petróleo. 2013. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

8. **John Wilmer Parra Llanos**. Modelagem e Simulação da Secagem em Rama Têxtil. 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

9. **Fabiane Paula Werlang Schuster**. Estudo de otimização das condições de produção industrial de queijos de leite bovino. 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

4.5 Orientações de Doutorado (orientador principal)

Concluídas:

1. **Raquel Manozzo Galante**. Modelagem e simulação de um reator tubular contínuo para a produção de biodiesel. 2012. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

2. **Adriana Elaine da Costa**. Purificação de biodiesel com uso de adsorventes alternativos. 2011. Tese (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

3. **Julio Cesar Zanchet Piaia**. Experimentação e modelagem da secagem de linguiça em escala industrial. 2009. Tese (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

4. **André Lourenço Nogueira**. Desenvolvimento de Reator Tubular para a Produção de Polímeros em Suspensão. 2007. Tese (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

5. **Toni Jefferson Lopes**. Desenvolvimento de Estratégias para Aperfeiçoar a Utilização de Argilas Adsorventes em Processos Industriais.. 2006. Tese (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

6. **Claudio Almeida Filho**. Estudo Experimental e Teórico de Coeficientes de Difusão Binários Envolvendo Componentes de Óleos Essenciais em Dióxido de Carbono Supercrítico. 2003. Tese (Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

Em andamento:

1. **Mauricio Carvalho dos Santos**. Novas fronteiras da simulação para treinamento: aplicação para destilação em película de parede molhada. 2013. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

2. **Nilva Regina Uliana**. Desenvolvimento de Adsorventes Alternativos para Aplicação em Processos Contínuos de Separação. 2012. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina

5. Atividades de Pesquisa

Ao longo de sua carreira o Prof. Marinho B. Quadri tem atuado em diferentes linhas de pesquisa, destacando-se as seguintes:

1. Extração e purificação de inulina e corantes naturais

Objetivos: Desenvolvimento de técnicas de extração e purificação de inulina e corantes naturais de origem vegetal.

2. Física de solos

Objetivos: Caracterização, modelagem do transporte de água, nutrientes e substâncias químicas em solos saturados e não saturados.

3. Pesquisa e desenvolvimento para a produção e purificação de biodiesel

Objetivos: Desenvolvimento de processo, reatores, catalisadores e métodos de purificação de biodiesel com ênfase na rota etílica.

4. Extração supercrítica

Objetivos: estudo experimental e teórico de coeficientes de difusão binários envolvendo componentes de óleos essenciais em dióxido de carbono supercrítico. Exploração de técnicas alternativas para fabricação de biodiesel.

5. Reatores de polimerização

Objetivos: Desenvolvimentos de reatores de processo contínuo para produção de EPS entre outros.

6. Fenomenologia da secagem para aplicação aos processos industriais

Objetivos: Modelagem, otimização e desenvolvimento de processos relacionados à operação de secagem com ênfase na eficiência energética.

7. Técnicas vibroacústicas para detecção de vazamentos a partir de dutos

Objetivos: Dominar os aspectos referentes à caracterização de um evento de vazamento de dutos de petróleo. O desafio principal é discriminar a assinatura do vazamento dos demais ruídos normalmente emitidos em um duto, como ruído de bombeio, abertura e fechamento de válvulas, ruído da turbulência da vazão, etc. O segundo desafio é detectar esta assinatura em pontos distantes de sua fonte, já que os sinais são atenuados ao viajarem pelo duto. Busca-se validar experimentalmente uma estratégia baseada em princípios acústicos e de vibrações para a detecção e localização de vazamentos. Uma bancada experimental deve utilizar transdutores que fazem a conversão da energia mecânica da onda elástica em energia elétrica. Entre as opções, segundo as demandas de sensibilidade, faixa de frequências e custo, encontram-se: extensômetros, sensores piezoelétricos, transdutores eletromagnéticos (EMATs) e interferômetros óticos ou de fibras-óticas.

8. Fluidodinâmica de sistemas água/óleo

Objetivos: domínio teórico/experimental de sistemas envolvendo o escoamento submerso de óleo presente durante as operações *offshore* da indústria do petróleo.

9. Dispersão de poluentes atmosféricos

Objetivos: desenvolver modelos fenomenológicos aptos a descrever a dispersão de poluentes no ar ambiente provenientes de processos industriais.

10. Destilação em película de parede molhada

Objetivos: Realizar simulações da fluidodinâmica do escoamento com evaporação parcial de um filme líquido descendente, no intuito de obter uma película uniforme, estável e sem rupturas ao longo de sua altura. Realizar também testes de película descendente com fluidos de diferentes viscosidades, isto é, com água, óleo de soja e óleo spindura.

Verificar, preliminarmente para a água, os efeitos e consequências da transferência de calor sobre o escoamento e integridade do filme, determinando a demanda térmica necessária para um certo grau de evaporação do mesmo ao longo do tubo.

5.1 Projetos de Pesquisa

São os seguintes os projetos de pesquisa em que o professor Marinho B. Quadri atuou ou ainda atua:

(2013 – Atual) Formação de recursos humanos no desenvolvimento de tecnologias limpas na indústria de processos de Engenharia Química- CAPES/CAFP-BA

Descrição: Os objetivos, estabelecidos de comum acordo entre a instituição Promotora e Receptora são: 1. Alavancar o programa de doutorado em Engenharia Química da instituição receptora, o qual iniciou suas atividades formais em aril de 2011 e possui a avaliação CONEAU; 2. Promover a formação de pós-graduandos no regime de co-tutela e dupla titulação e o aperfeiçoamento de docentes pesquisadores vinculados a ambos os programas; 3. Consolidar o caráter de inovação de ambos os programas no desenvolvimento de tecnologias limpas em processos da Engenharia Química, área comum de atuação dos dois programas; 4. Promover a reciprocidade e equiparação da estrutura curricular, possibilitando uma mobilidade eficiente e ágil de estudantes e docentes de ambos os programas; 5. Realizar a troca de experiência com a ministração de cursos, seminários e aulas, por parte do corpo docente, em ambos os programas; 6. Realizar a divulgação conjunto dos resultados obtidos da parceria, tanto por meio de publicações em periódicos indexados como em comunicações a eventos; 7. Disseminar e incentivar a formação de novas parcerias e o intercâmbio entre instituições para o desenvolvimento de orientações em regime de co-tutela/dupla titulação; 8. Atuar em conjunto para a elaboração de novas parcerias visando a busca de recursos para a pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico, tanto em órgãos de fomentos oficiais como na oferta de projetos colaborativos com a iniciativa privada.

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (2); Mestrado acadêmico (4); Doutorado (6);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Mara Gabriela Novy Quadri; Pedro Hermes de Araújo; Cláudia Sayer; Ricardo Antonio Francisco Machado (Responsável); Ariovaldo Bolzan; Cíntia Soares

Financiador(es): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES

(2012 – Atual) Fomento á Formação de recursos Humanos nas áreas de Automação, Controle e Instrumentação para a industria do Petróleo e Gás, por meio do apoio ao PRH-

Descrição: Complementar a formação dos alunos nos cursos de graduação, mestrado e doutorado, em temas relacionados às áreas de Automação, Controle e Instrumentação para a indústria do Petróleo e Gás da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (6); Mestrado acadêmico (6); Doutorado (2);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Ariovaldo Bolzan; Júlio Elias Normey Rico (Responsável); Francisco Machado, Ricardo Antônio; Agostinho Plucenio; Daniel Pagano

Financiador(es): AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO-ANPGNB_PPROV

Número de orientações: 4;

(2012 – Atual) Modelagem fluidodinâmica do processo de polimerização do estireno em suspensão operando em regime contínuo

Descrição: Apesar do processo de polimerização em suspensão ser largamente empregado pela indústria fabricante de polímeros, ainda não se dispõe de um processo operando em regime contínuo. Isso se deve, basicamente, as dificuldades de se dispor de ferramentas adequadas para uma melhor compreensão da fluidodinâmica do processo para que então possam ser projetados reatores e dispositivos que possibilitem a condução da reação em regime contínuo. Neste projeto de cooperação internacional, atração de jovens talentos, contamos com uma equipe multidisciplinar que visa estudar todos os fenômenos envolvidos. Ao final do projeto pretende-se dispor de um processo piloto para a condução de reações de polimerização em suspensão em regime contínuo.

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (1); Doutorado (2);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; André Lourenço Nogueira; Ariovaldo Bolzan; Ricardo Antonio Francisco Machado (Responsável); Valério Francesco de Felice

Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq

(2012 – Atual) Projeto DESTUBCAL: Desenvolvimento tecnologia de destilação por tubo de calor, aplicável ao melhoramento de petróleo extra-pesado, em ambiente de produção offshore. Fase II

Descrição: O objetivo do presente projeto é avançar no estudo da utilização de tubos de calor como fonte de energia de torres de destilação visando redução do tamanho, altura, peso e do consumo energético. A principal missão é de se aprofundar no estudo e modelagem dos fenômenos de transferência de calor que ocorrem no processo, determinando assim qual o ponto ótimo para determinar a maior quantidade possível de tubos de destilação no interior da câmara de vapor, sem comprometer as devidas propriedades da transferência de calor e massa. Será construído uma unidade experimental multitubular onde tais fenômenos serão estudados. Também

serão realizados os estudos de controlabilidade visando a implantação de sistemas avançados de controle e otimização em tempo real das variáveis do processo.

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Mestrado acadêmico (1); Doutorado (2);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Ariovaldo Bolzan; Ricardo Antonio Francisco Machado (Responsável); Cíntia Soares; Tiago Peruzzo; Camila da Silva Gonçalves

Financiador(es): CENPES/Petrobrás-CENPES

Número de orientações: 2;

(2010 – 2013) Estudo do Escoamento de Óleo durante o Enchimento Submarino de Balões – PROJETO EM DESTAQUE

O Projeto

Inserido no programa de Projetos Internos da Produção (PR-146) da PETROBRÁS, o presente projeto, que iniciou no final de maio de 2010, está no momento sendo finalizado com a apresentação de seu relatório final, tendo obtido avanços significativos no estudo e desenvolvimento de uma tecnologia voltada para as operações de coleta de óleo/gás emitidos de poços ou oleodutos em águas profundas tanto no contexto da produção quanto em situações de vazamento.

Durante o período de realização do projeto (junho/2010 a novembro/2012), cinco trabalhos de divulgação foram gerados explorando os resultados obtidos na pesquisa e discutindo sobre possibilidades para futuros estudos. Além desses, concluiu-se uma dissertação de mestrado, defendida em maio/2012 pelo aluno Rafael Feller do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFSC, intitulada "ESTUDO DO VAZAMENTO E CAPTURA DE ÓLEO EM AMBIENTE SUBAQUÁTICO". Ressalta-se que todas as salvaguardas relacionadas às cláusulas de sigilo constantes no contrato Petrobrás/UFSC foram preservadas. Os eventos e trabalhos relacionados são os seguintes:

- *Estudo da Captura e Contenção de Vazamentos de Óleos em Ambiente Submarino*, 2º Encontro Petrobrás e Universidades de Novas Tecnologias para Avaliação de Petróleos. Rio de Janeiro, 11 a 13 de maio de 2011;

- *Experimental And Modelling Study To Capture Of Leaking Oil In Underwater Environment*, Rio Pipeline Conference & Exposition 2011, realizado de 20-22 de setembro de 2011 no Rio de Janeiro;

- *Estudo Teórico/Experimental sobre as Condições de Captura e Remoção de Óleo Proveniente de Vazamentos Subaquáticos*, 6º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Maputo, realizado de 29 agosto a 02 setembro de 2011.

- *Experimento e simulação do recolhimento de óleo com sacos desdobráveis em meio subaquático*, VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, realizado de 29 e 30/abril a 01 de maio/2012 em Criciúma/SC.

- *Experimental and simulation study of gravitational separation of oil/water emulsion*, ICR 2012 - XVIth International Congress on Rheology Lisbon, August 5-10, 2012, Lisbon, Portugal.

- *Estudo do vazamento e captura de óleo em ambiente subaquático*, Dissertação de mestrado de Rafael Feller, maio de 2012, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química/UFSC, Florianópolis/SC

O estudo realizado consta de uma parte experimental e outra de modelagem. Nos ensaios experimentais realizados, foi possível constatar a viabilidade da implantação de estruturas submersas infláveis para a captação de óleo/gás a partir de um ponto no fundo do mar. Os experimentos desenvolvidos em escala laboratorial permitiram o delineamento de estratégias e condições operacionais propícias à utilização dessa nova tecnologia. Os esforços empreendidos na área de simulação do fenômeno de escoamento imiscível do óleo submerso em interação com a estrutura de coleta do mesmo mostraram-se bastante promissores. A utilização de uma plataforma *Multiphysics* fundamentada sobre o método de elementos finitos logrou sucesso ao colocar em evidência a importância dos parâmetros fenomenológicos e geométricos que caracterizam o sistema. Adicionalmente, elaboraram-se modelos com base geométrica/fenomenológica e componente semi-empírica, agregando os conhecimentos adquiridos, e que são capazes de representar de maneira simplificada, mas suficientemente correta, o processo de captura e inflamento do balão com o óleo.

DOS OBJETIVOS

Como objetivo geral, tem-se o desenvolvimento de um estudo teórico/experimental e de simulação que visa a produção de conhecimentos que venham a viabilizar a construção e a operação de um aparato destinado a **coletar óleo/gás proveniente de poços ou oleodutos submersos** antes de seu espalhamento em meio submarino.

Como **objetivos específicos**, listam-se:

- **Realizar um estudo de modelagem semi-empírica**, mas com forte embasamento fenomenológico, buscando descrever de forma realística a situação física de um balão ou bexiga submersa em água que deverá ser preenchida com óleo que vaza a partir de um ponto abaixo da mesma. O modelo deverá considerar as principais propriedades físicas dos fluidos envolvidos, tais como: massas específicas, viscosidades e tensão interfacial, além dos efeitos de temperatura e pressão próprios das condições operacionais. Uma caracterização das propriedades físicas e geométricas do material do balão/bexiga deverá fornecer elementos adicionais ao modelo. Aspectos relacionados aos padrões de escoamento água/óleo fora e dentro da bexiga deverão estar contemplados, possibilitando prever o tempo necessário para o preenchimento e o percurso do óleo no interior da bexiga, bem como a forma como suas paredes irão se distender/desdobrar.

- **Desenvolver um estudo experimental** que envolverá a construção de um modelo físico em escala reduzida das condições de captação de óleo a partir de um ponto submerso em água para dentro de um balão ou bexiga submersa. A primeira condição a ser testada considerará o óleo ascendendo pelo mecanismo de migração advectiva (inversão de fases devida unicamente à diferença de densidade entre os fluidos água/óleo) sem a interferência de qualquer diferencial de pressão. Será inicialmente considerada a condição de partida com a bexiga colapsada, ou seja, vazia e com as suas paredes internas encostadas. Posteriormente, variando-se as condições iniciais, testes com a bexiga parcialmente e totalmente preenchida com água também serão realizados. A coleta de óleo emitido sob forma de jatos submersos (sob diferencial de pressão) também poderá ser testada;

- **Simular o escoamento do óleo** prevendo dimensões e velocidade da coluna formada, bem como o caminho mais provável de deslocamento, buscando ainda empregar a simulação para avaliar possibilidades de controle do escoamento;

- **Realizar um estudo sobre o tipo de bocal** ou saia que deverá ser posicionada abaixo da bexiga de forma a direcionar e facilitar a captação do óleo que ascende a partir do ponto de vazamento;

- **Indicar** dentre os **materiais** avaliados os mais adequados e apontar diretrizes de construção do dispositivo de coleta e remoção de óleo da água.

- **Proceder a uma análise dos elementos**, incluindo sua disposição e funcionamento, **para o esgotamento do óleo coletado na bexiga**, além de suprir a eventual necessidade de separação óleo/gás a partir de vazamentos de poços de petróleo ou de oleodutos/gasodutos

submersos. Devido às diferenças de densidade, o gás (na hipótese de sua existência) ficará retido na porção superior da bexiga. O óleo por sua vez ocupará uma porção sobre a água que ao final da operação deverá tomar um volume limitado à região do bocal de coleta. Poderão ser avaliadas opções de esgotamento das fases.

BANCADA EXPERIMENTAL E PROCEDIMENTOS

Construiu-se um aquário de dimensões maiores com 130 cm de altura, 100 cm de comprimento e 50 cm de largura. Foram previstos orifícios na parede traseira de forma a se poder adaptar luvas que permitem manusear os diferentes componentes submersos necessários aos experimentos de vazamento e coleta. Também, um orifício na placa do fundo permite, por meio de um bocal adaptado, a conexão direta de uma mangueira que vem diretamente do reservatório de óleo entrando por baixo do aquário, deixando livre a sua superfície. Um conjunto de lâmpadas fluorescentes tubulares é fixada apropriadamente acima da superfície da água para se garantir uma melhor iluminação. O aquário é suportado por um carinho em ferro galvanizado munido de rodas para permitir o seu deslocamento quando necessário, em especial nas operações de manutenção e limpeza. A Figura 1 mostra essa bancada experimental, numerando-se e descrevendo cada um de seus componentes:

1 – Cuba de vidro: construída com vidros temperados de 15 mm de espessura, com dimensões de 130 cm x 100 cm x 50 cm, apresenta um orifício no fundo de 3,5 cm de diâmetro para adaptação de um bocal de injeção de óleo. Possui dois furos de 11,5 cm de diâmetro na parte traseira da cuba para adaptação de flanges que permitem a fixação de luvas. Essas luvas facilitam a montagem dos experimentos tornando possíveis os procedimentos no fundo do aquário.

2- Carrinho: projetado para acomodar e suportar a cuba de vidro, dotado de rodas, com o objetivo de locomoção para eventuais limpezas e procedimentos como enchimento e esgotamento de água. Possui também suportes para luminária e para o cilindro de armazenamento de óleo.

3- Mangueiras de injeção: suprem ar do cilindro de compressão até o cilindro de armazenamento e óleo do cilindro de armazenamento até o bocal de injeção. Possuem 1/2 polegada de diâmetro.

4- Manômetro: para medição da pressão no cilindro de armazenamento de óleo durante os ensaios experimentais.

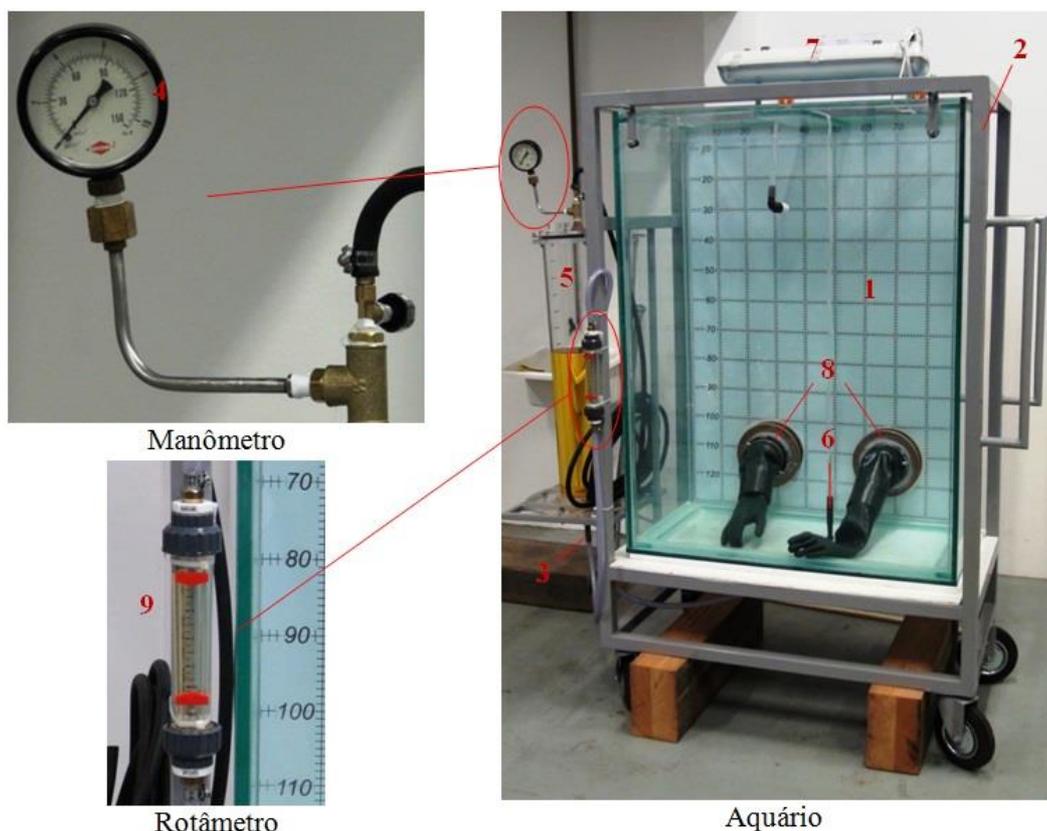


Fig.1 - O aquário com instrumentos de medida de pressão no reservatório de óleo e vazão através do bocal de injeção localizado no fundo do mesmo.

5- Cilindro de armazenamento de óleo: construído em acrílico para uma melhor visualização do esgotamento do óleo, com dimensões de 85 cm de altura e 15 cm de diâmetro. Tem o objetivo de armazenar o óleo e injetado-lo para dentro do aquário quando submetido a uma pressão desejada. Possui vedação e capacidade para suportar uma pressão em torno de 2 atm, duas tampas superiores, uma maior para manutenção e limpeza e outra menor de 5 cm de diâmetro para a reposição do óleo. Apresenta uma saída no fundo para adaptação da mangueira de injeção de óleo até o bocal de injeção no fundo do aquário.

6- Bocal de injeção: orifício de 1,1 cm de diâmetro que corresponde ao ponto de vazamento submerso.

7- Luminária: composta por duas lâmpadas fluorescentes com o objetivo de fornecer a iluminação necessária para o registro das imagens dos ensaios.

8- Luvas: necessárias para o manuseio dos materiais na montagem dos ensaios no fundo do aquário.

9- Rotâmetro: para medição da vazão de óleo durante os ensaios de vazamento.

MODELO DE BALÃO INFLÁVEL COM FORMA DADA POR INTEGRAIS ELÍPTICAS

Em uma série de testes experimentais de acompanhamento do enchimento de um balão submerso com óleo (Figura 2), procurou-se observar a forma geométrica do volume ocupado pelo óleo à medida que o mesmo ia se acumulando. Constatou-se que a forma assumida pelo balão em estágios intermediários do enchimento, (b) e (c) na Figura 2, era mais alongada do que o modelo de preenchimento esférico anteriormente proposto. O saco plástico utilizado era de paredes finas (do tipo utilizado em supermercados pelos clientes no momento de se servirem de frutas, legumes etc) de modo a oferecer a menor resistência possível às forças de flutuação atuantes na fase óleo responsáveis pelo inflamento e definição da forma geométrica do balão. Assim, assumiu-se que a forma tomada pelo balão, enquanto ainda parcialmente preenchido, seria aquela "natural" em uma operação de coleta de óleo em meio submerso em água. Já na etapa final, Figura 2 (d), o óleo tende a tomar todo o espaço disponível e o balão acaba assumindo a geometria definida pela própria construção do saco, segundo uma conformação "forçada" e pouco "natural".

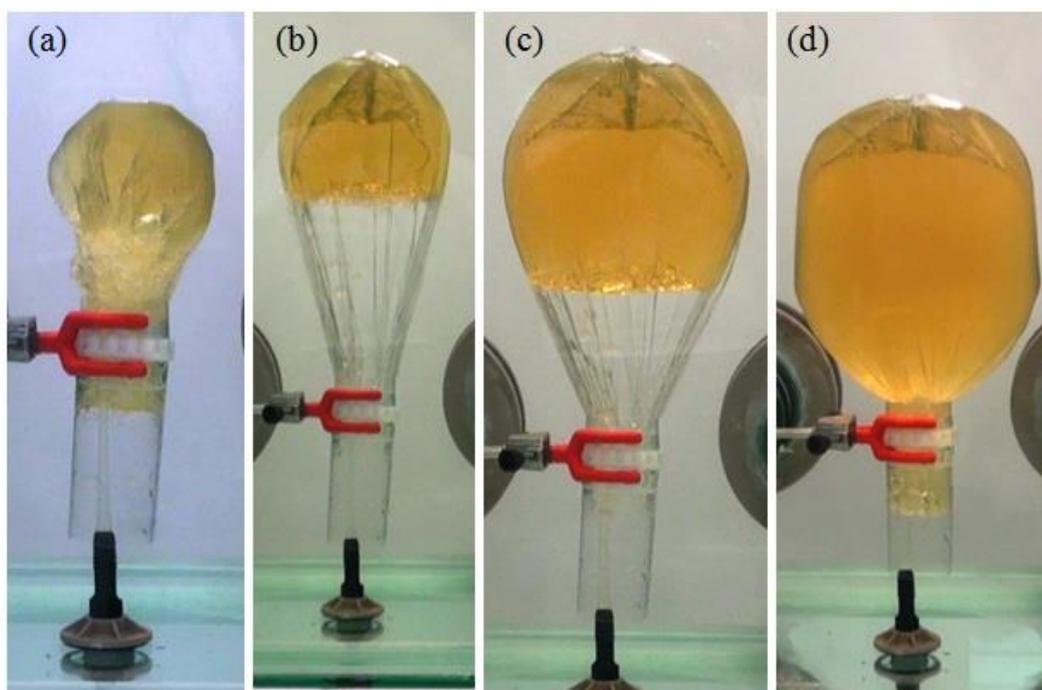


Fig.2 – Situação experimental do enchimento e distensão das paredes de um balão (polietileno) sendo preenchido com óleo e submerso em água.

Com o intuito de encontrar a expressão matemática para geometria observada no processo de enchimento do balão, deu-se início à pesquisa por formas assumidas por cabos estruturais quando submetidos a cargas distribuídas.

De uma maneira geral, o modelo do balão construído por integrais elípticas se mostrou bastante adequado (Figuras 3 e 4), principalmente ao se considerar que os sacos plásticos utilizados para comparação têm “sobras” e por isso apresentam muitas dobras durante o enchimento, o que é um fator não desejável de distanciamento entre os experimentos e o modelo.

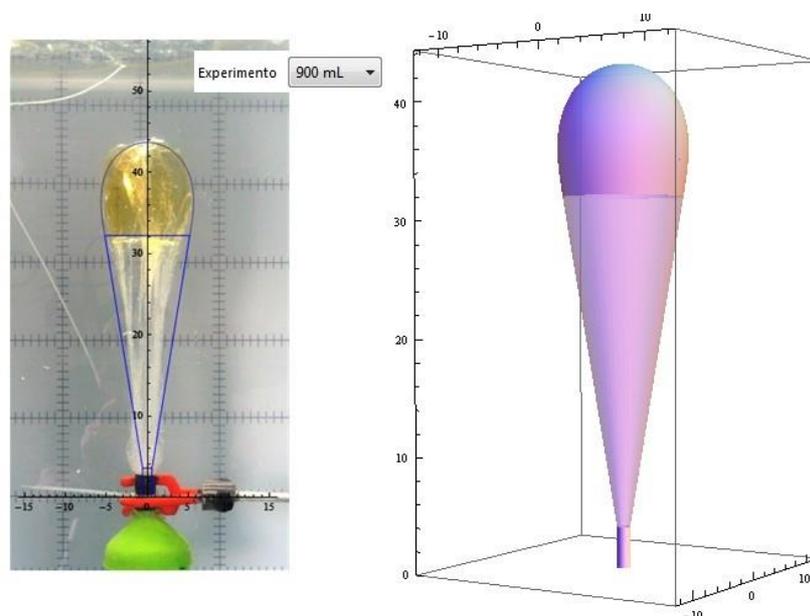


Fig.3 - Comparação entre o modelo de integrais elípticas e a forma experimental de um saco submerso preenchido com 900 ml de óleo (soja). À direita a ilustração 3D do modelo

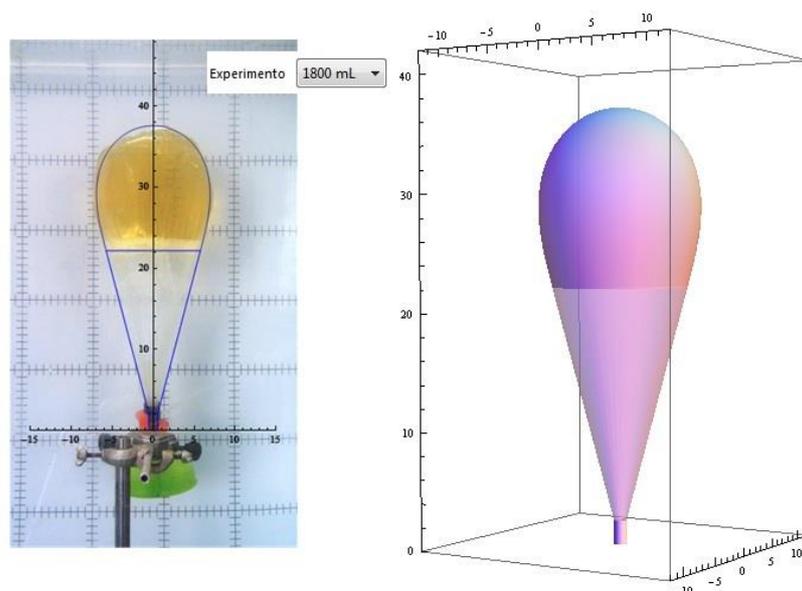


Fig.4 - Comparação entre o modelo de integrais elípticas e a forma experimental de um saco submerso preenchido com 1800 ml de óleo (soja). À direita a ilustração 3D do modelo.

CONCLUSÕES

- A partir da revisão bibliográfica empreendida, percebe-se que **não existem muitas técnicas e procedimentos disponíveis para o resgate de óleo/gás liberado acidentalmente** durante operações *offshore* da indústria do petróleo. Essa carência de técnicas para a retirada e recuperação do óleo se deve em grande parte aos altos custos para captar o óleo que vaza a grandes profundidades no mar bem como remover aquele que chega à superfície;
- No conjunto de artigos e demais publicações analisadas, **não foi possível encontrar qualquer alusão a técnicas de captação de óleo no fundo do mar com vistas ao processo produtivo**. Existe, portanto, uma grande lacuna de conhecimentos nessa área, mas que, por outro lado, enseja um campo pleno de possibilidades e oportunidades para o desenvolvimento de projetos de pesquisa e inovação voltados à produção em águas profundas;
- No que se refere às simulações computacionais voltadas ao problema do escoamento água/óleo em ambiente aberto, a maioria dos trabalhos aborda o estudo das características da mancha submarina, tais como seu comportamento e dimensões, a fim de prevenir e diminuir os impactos ambientais, enfatizando somente a retirada do óleo da água do mar e não sua recuperação. Existe assim a **necessidade de agregar conhecimento sobre o escoamento do óleo submerso em interação com estruturas de captação e armazenamento**, e, talvez, pré-processamento a partir do fundo do mar em direção à superfície;
- Com os ensaios experimentais realizados, foi possível constatar a **viabilidade da implantação de estruturas submersas desdobráveis/infláveis para a captação de óleo/gás a partir de um ponto no fundo do mar**. Existe, no entanto, a necessidade de desenvolvimento de novos materiais (ou adaptação de algum já existente) e a realização de testes em condições de campo de maneira a se poder definir estratégias e procedimentos operacionais otimizados que permitam consolidar essa nova tecnologia, a qual se constituiu no objeto central do presente projeto;
- **Os esforços empreendidos na área de simulação** do fenômeno de escoamento imiscível do óleo submerso, em interação com a estrutura de coleta do mesmo, **mostraram-se bastante promissores**. A utilização de uma plataforma *Multiphysics* fundamentada sobre o método de elementos finitos logrou sucesso ao colocar em evidência a importância dos parâmetros físicos e geométricos que caracterizam o sistema;

- A validação do modelo numérico frente aos resultados experimentais se constituiu em ponto de apoio para o desenvolvimento de um modelo semi-empírico, de baixo custo computacional. O **modelo semi-empírico** baseado nos princípios estabelecidos no item 6 deste relatório **foi desenvolvido no software Mathematica® v.8.0** e se constitui em ferramenta de análise preliminar para a elaboração de projetos e condução de operações envolvendo a tecnologia de balões submarinos para a captação de óleo no fundo do mar. Esta versão possui características de interatividade com o usuário de maneira a permitir a pronta atualização dos resultados e gráficos, assim que novos parâmetros operacionais e fenomenológicos sejam selecionados;

- **No processo de coleta do óleo** que vaza a partir de um bocal submerso em direção ao bocal de recepção, sobre o qual se encontra um saco vazio e dobrado, **identificam-se três estágios sucessivos**: 1º) uma fase inicial de acumulação do óleo no bocal de recepção sob o saco ainda fechado. Durante a acumulação do óleo, a água inicialmente presente no bocal é desalojada mediante um contra fluxo anular coaxial ao óleo que ascende para o interior do dispositivo; 2º) após a coluna de óleo acumulada atingir a altura suficiente, a força de flutuação gerada pela diferença de densidades entre a água e o óleo promove o rápido desdobramento e inflamento do saco, fazendo com que o óleo retido se precipite de maneira abrupta para o interior do saco, arrastando água consigo. De acordo com os resultados apresentados no item 5.2.3, para a faixa de condições testadas, maiores velocidades de injeção e menor diâmetro do tubo de recepção produzem um menor arraste de água, proporcionalmente à vazão de óleo em ascensão; 3º) com o saco já inflado e o óleo coletado, agora em posição estática na porção superior do mesmo, o óleo que continua a vazar ascende através do bocal de recepção, recebendo novamente o contrafluxo anular da água que sai pelo referido bocal. Evidencia-se assim a complexidade do processo pela sucessão de estágios a serem considerados na implantação desse tipo de operação.

- Ensaios de coleta e drenagem de óleo com um balão rígido de vidro foram realizados com sucesso demonstrando assim a **viabilidade operacional do conceito** envolvendo o emprego de balões para a captura e aproveitamento do óleo ao vazar em ambiente submarino quer no contexto de acidentes ou da produção;

- Devido à **fragmentação do jato de óleo produzido durante o vazamento**, produz-se uma emulsão pouco estável de grandes gotas de óleo na água. De fato, verificou-se que, nas condições testadas, essa emulsão pode conter até 17% em volume de água, mas a sua completa decantação com a coalescência das gotas de óleo acontece em poucos minutos. As instabilidades no escoamento do óleo e o comportamento sinuoso que geram as

fragmentações e a formação de gotas variaram de acordo com a taxa de vazamento e as características do óleo. O raio de dispersão de gotas menores produzidas pela injeção de óleo em velocidades elevadas pode variar bastante. Deve-se ter presente, também, que a presença de emulsão tende a diminuir a força de flutuação atuante sobre o volume de óleo coletado;

- O desenvolvimento do **estudo de ampliação de escala requer ensaios adicionais** em sistemas de maiores dimensões do que aqueles realizados até o momento no aquário de testes (Figura 19). Aspectos como a ancoragem e estabilidade no preenchimento do balão com óleo diante da presença de correntes submarinas, por exemplo, dependem das dimensões envolvidas. Corre-se o risco de se cometer grandes erros ao se tentar extrapolar comportamentos de pequena escala para dimensões correspondentes às operações de campo, pois os fenômenos presentes são fortemente não lineares. As forças intervenientes em sistemas de escoamento imiscíveis têm componentes de: pressão, inércia, stress viscoso, gravidade, empuxo e tensão superficial. Uma maneira usual de identificar as forças dominantes e aquelas que podem ser negligenciadas emprega a definição de números adimensionais que expressam a razão entre duas dessas forças. Os principais números adimensionais a serem considerados são:

- Reynolds: que expressa a razão entre as forças de inércia e viscosas;
- Euler: que expressa a razão entre gradientes de pressão e forças de inércia;
- Froude: que expressa a razão entre as forças de inércia e gravidade;
- Weber: que expressa a razão entre as forças de inércia e de tensão de superfície;
- Eötvös: que expressa a razão entre as forças de empuxo e de tensão de superfície;

A quantificação desses números aliada a informações de natureza empírica (obtidas via experimentação em diferentes escalas) devem pautar os cálculos de ampliação de escala;

- Foram propostos dois **modelos para a forma geométrica dos balões submarinos**: paraquedas e elíptico. Em vista das evidências experimentais e teóricas, o modelo elíptico de balão parece ser aquele mais próximo daquilo que se espera para uma forma geométrica “espontânea” para um artefato a ser construído em tecido ou lona destinado ao recolhimento de óleo no fundo do mar. Estudos experimentais com essa geometria ainda são necessários e dependem da disponibilidade de materiais adequados às solicitações de tensões de estiramento e de pressão, além da requerida elasticidade que permitiria ao balão um enchimento com a minimização de dobras e economia de área superficial das paredes do mesmo.

Conclui-se que os resultados obtidos e apresentados neste relatório de finalização são de extremo interesse e apresentam potencial para que venham a se tornar um elementos-chave

para a concretização de um novo elenco de procedimentos capazes de atender às operações de campo no fundo do mar, com substancial economia.

Situação: Concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (2); Mestrado acadêmico (4);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri (Responsável);

Financiador(es): CENPES/Petrobrás-CENPES

(2010 - Atual) Fortalecimento e Consolidação dos Programas de Graduação e Pós-graduação , Stricto Sensu, desenvolvidos por meio do programa de Formação de Recursos Humanos - PRH

Descrição: Formação de Engenheiros nas áreas de Automação, Controle e Instrumentação para a indústria do Petróleo e Gás com ênfase no setor Petróleo, Gás e Biocombustíveis.

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Mestrado acadêmico (2); Doutorado (1);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Júlio Elias Normey Rico (Responsável); Ariovaldo Bolzan; Ricardo Antonio Francisco Machado; Agustinho Plucenio; Daniel Pagano

Financiador(es): AGENCIA NACIONAL DO PETROLEO-ANPGNB_PPROV

Número de produções C,T & A: 1/ Número de orientações: 4;

(2008 – 2013) Caracterização Vibroacústica de Vazamentos a Partir de Seções de Dutos Para Aplicação na Indústria de Petróleo e Gás

Objetivo: O objetivo geral do trabalho é a caracterização vibroacústica de vazamentos a partir de seções de dutos para aplicações na indústria de petróleo e gás. De forma específica seu desenvolvimento visa: esboçar um quadro teórico descrevendo a problemática de vazamentos em dutos na indústria de petróleo e gás e a importância de pesquisas para a área em estudo; Desenvolver uma metodologia experimental buscando uma caracterização vibroacústica de vazamentos causados por rupturas estruturais em seções de dutos. Aplicação na Indústria do Petróleo: Através do exposto, verifica-se que a preocupação com possíveis vazamentos em redes de tubulações é um assunto que esteve sempre em pauta neste processo de expansão da empregabilidade das mesmas. Adicionalmente, deve-se mencionar que a crescente preocupação com a proteção do meio ambiente e com a segurança da população são fatores que impulsionam a implementação de uma tecnologia de detecção de vazamento segura e confiável, pois a pronta detecção do vazamento permite a redução de perdas dos produtos transportados e medidas de remediação eficazes próximas ao local. Almeja-se, portanto, contribuir com as demandas de segurança e de preservação do meio ambiente, além de colaborar para a independência tecnológica do país nas operações de transporte de combustíveis através de dutos. Resultados

Obtidos: O presente trabalho encontra-se em fase inicial e a metodologia experimental proposta ainda não foi realizada. Entretanto, o trabalho está inserido na linha de pesquisa para detecção de vazamentos em dutos desenvolvida no Laboratório de Controle de Processos (LCP/EQA/UFSC) e que vem ao longo dos últimos anos obtendo resultados relevantes para a área. Os resultados esperados pela realização da pesquisa são: dominar os aspectos referentes à caracterização do sinal vibroacústico proveniente de um evento de vazamento de uma secção de duto para validar experimentalmente uma estratégia de caracterização dos sinais para detecç

Situação: Concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (1); Mestrado acadêmico (1); Doutorado (1);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri (Responsável); Ariovaldo Bolzan; Flávia Morini Garcia; Ricardo Antonio Francisco Machado; Polliana Corrêa Moraes; Jeferson Giaretton

Financiador(es): Agência Nacional do Petróleo-ANP

Número de produções C,T & A: 5/ Número de orientações: 1;

(2006 – 2008) Estudos de métodos de separação e seqüestro de CO₂

Descrição: Pesquisa e desenvolvimento de adsorventes para seqüestro e captura de CO₂. Funcionalização de polímeros e fabricação de materiais compósitos de alta eficiência para adsorção de gás carbônico da atmosfera.

Situação: concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Doutorado (6);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Regina de Fátima Peralta Muniz Moreira (Responsável); Toni Jefferson Lopes; Ricardo Antonio Francisco Machado; Alírio Egídio Rodrigues

Financiador(es): CAPES - Centro Anhanguera de Promoção e Educação Social-CAPES

Número de produções C,T & A: 2/ Número de orientações: 1;

(2006 – Atual) Desenvolvimento de Metodologias e Materiais Alternativos para a Purificação do Biodiesel

Descrição: O objetivo deste projeto é desenvolver materiais e metodologias eficientes para a purificação final de biodiesel etílico obtido a partir de óleo residual de fritura e gordura animal proveniente da estação de tratamento de efluente de frigoríficos.

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (1); Doutorado (1);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri (Responsável); Ricardo Antonio Francisco Machado; Adriana Elaine da Costa; Rafael Dias; Veridiana Gavanski; Gabriela Moraes da Silva; Nilva Regina Uliana

Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq

Número de orientações: 3;

(2006 – 2011) Desenvolvimento de Catalisadores Heterogêneos Orgânicos na Produção de Biodiesel a Partir de Resíduo de Óleo de Fritura

Descrição: Este projeto propõe o desenvolvimento de catalisadores heterogêneos orgânicos ácidos para uso na produção de biodiesel em fluxo contínuo, utilizando-se como matéria prima resíduo de óleo de fritura, para obtenção de um produto final (biodiesel) que atenda às especificações estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Situação: Concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (1); Doutorado (1);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri (Responsável); Adriana Elaine da Costa; Rafael Dias; Veridiana Gavanski; Gabriela Moraes da Silva

Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq

Número de orientações: 4;

(2006 – 2008) Obtenção de inulina a partir de vegetais cultivados em Santa Catarina

Descrição: Procura-se obter inulina a partir de vegetais como o alho e o yacon mediante diferentes condições de extração. Além disso, busca-se purificar o produto de extração e caracterizá-lo.

Situação: concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (2); Mestrado acadêmico (2); Doutorado (1);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Mara Gabriela Novy Quadri (Responsável); Ricardo Antonio Francisco Machado; Raquel Manozzo Galante; Sandra Regina Yaginuma; Milene Castoldi

Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq

Número de produções C,T & A: 1/ Número de orientações: 1;

(2006 – 2008) Avanços na tecnologia de produção de EPS

Descrição: Desenvolvimento de reatores e técnicas de polimerização para inovação tecnológica na produção de EPS.

Situação: concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (2); Mestrado acadêmico (2); Doutorado (7);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; André Lourenço Nogueira; Ricardo Antonio Francisco Machado (Responsável); Pedro Hermes de Araújo; Carlos Alberto Claumann; Cláudia Sayer

Financiador(es): Termotécnica Ltda-TTCA, Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP

Número de produções C,T & A: 6/ Número de orientações: 1;

(2005 – 2008) Desenvolvimento de uma abordagem de detecção de vazamentos em dutos

Descrição: O projeto se destina a elaboração de estratégias baseadas em sinal de pressão e balanços de massa para a detecção de vazamentos a partir de dutos da indústria do petróleo.

Situação: Concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Ariovaldo Bolzan (Responsável); Ricardo Antonio Francisco Machado; Nestor Roqueiro; Renan Martins Baptista; Carlos Alberto Claumann

Financiador(es): Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguêz de Mello-CENPES

Número de produções C,T & A: 5/

(2004 – 2007) Migração advectiva em dutos submarinos - Fase II

Descrição: Neste projeto foram estudadas diferentes amostras de petróleo no contexto do fenômeno de migração advectiva. Mais de 250 ensaios experimentais foram realizados e uma primeira abordagem teórica preditiva foi concluída. Espera-se uma recondução desse projeto mediante a contratação de uma fase III.

Situação: Concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (6); Mestrado acadêmico (1); Doutorado (2);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Toni Jefferson Lopes; Ariovaldo Bolzan; André Lourenço Nogueira; Ricardo Antonio Francisco Machado (Responsável); Renan Martins Baptista

Financiador(es): Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, Petróleo Brasileiro - Rio de Janeiro - Matriz-PETROBRAS

Número de produções C,T & A: 9/ Número de orientações: 6;

(2002 - Atual) Obtenção de antocianinas de repolho roxo na forma de pó

Descrição: Os pigmentos produzem cores que podemos observar em cada passo de nossas vidas. Pigmentos, tanto os naturais como os sintéticos, são usados nos mais diferentes ramos: medicina, alimentos, roupas, cosméticos, etc. No entanto, somente os pigmentos naturais têm funções outras, mais importantes que a beleza: a fotossíntese, e provavelmente toda a vida na terra, não existiriam sem a clorofila e os carotenóides; o oxigênio e dióxido de carbono não poderiam ser transportados sem hemoglobina e mioglobina; as quinonas têm sua importância na conversão da luz em energia química; a melanina atua como protetor da pele em vertebrados; por último, mas não menos importante temos os pigmentos de atividade farmacológica em doenças tais como câncer e cardiovasculares (Hari et al., 1994). Quando os conceitos de pigmentos sintéticos e doença começaram a ser associados, o interesse por pigmentos naturais aumentou o interesse pelos pigmentos naturais. No entanto, os pigmentos naturais permitidos

para alimentos humanos é muito limitado, e a aprovação de novas fontes é difícil porque a FDA (U.S. Food and Drug Administration) considera o pigmento como aditivo, os quais apresentam uma legislação restritiva ao seu uso (Delgado Vargas et al., 2000). Dentre os corantes encontrados na natureza, as antocianinas são dos mais conhecidos, e responsáveis pela coloração rosado ao vermelho, violeta e azul de flores, frutos e vegetais. As antocianinas podem ser encontradas em variedades de cereja, maçãs, ameixas, uvas, morangos, rabanete, repolho roxo, etc. (Penfield e Campbell, 1990). As antocianinas têm como função, além de colorir, as funções dos flavonóides, classe de corantes à qual pertencem: ação antioxidante, fotoprotetiva e atua no mecanismo de defesa. Além disso mostram atividade em mecanismos de reprodução de diversas plantas, tais como polinização e dispersão de sementes, podendo ainda atuar como agentes de controle biológico. Na indústria de alimentos, podem ser usadas como marcadores

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (2); Especialização (0); Mestrado acadêmico (2); Mestrado profissionalizante (0); Doutorado (1);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Mara Gabriela Novy Quadri (Responsável); Toni Jefferson Lopes; Ricardo Antonio Francisco Machado; Ariovaldo Bolzan

Financiador(es): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq

Número de produções C,T & A: 23/ Número de orientações: 2;

(2001 – 2003) EAD-Entreinamento advectivo em dutos submarinos

Descrição: O presente projeto visa a definição de padrões de escoamento por migração advectiva de hidrocarbonetos ocorrido devido ao rompimento de dutos submarinos.

Situação: Concluído; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (4); Especialização (0); Mestrado acadêmico (2); Mestrado profissionalizante (0); Doutorado (2);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri (Responsável); Toni Jefferson Lopes; André Lourenço Nogueira; Ricardo Antonio Francisco Machado (Responsável); Renan Martins Baptista

Financiador(es): Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguêz de Mello-CENPES

Número de produções C,T & A: 9/ Número de orientações: 2;

(2001 – Atual) PRH 034 - Formação de Engenheiros nas Áreas de Automação, Controle e instrumentação para a Indústria do Petróleo e Gás (aciPG-PRH34)

Descrição: A proposta apresentada pelo programa aciPG objetiva a formação de especialistas em controle e áreas correlatas, nos níveis de graduação e pós-graduação para atuação nos setores de petróleo e gás natural. Em se tratando de problemática de caráter eminentemente multidisciplinar, o aciPG está organizado de forma a permitir a participação de departamentos de ensino da UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina - com perfis diferenciados porém

complementares. O programa possui duas grandes áreas de atuação: CURSOS DE GRADUAÇÃO E CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO. Dentro da graduação, tem-se o enfoque da Engenharia de Controle e Automação Industrial e o da Engenharia Química. Para a Engenharia de Controle e Automação Industrial o programa tem a missão de propiciar ao engenheiro de Controle e Automação Industrial uma formação complementar que forneça conhecimentos a respeito das indústrias do petróleo e gás, evidenciando as características diferenciadas dos processos deste tipo de indústria. Pretende-se também disponibilizar uma formação específica em sistemas de controle, automação, instrumentação e informática industrial particulares destas indústrias, fornecendo conhecimentos básicos necessários para a participação em atividades de Pesquisa e Desenvolvimento nesta área. Para a Engenharia Química o programa tem a missão de propiciar ao Engenheiro Químico uma formação complementar que forneça conhecimento a respeito de sistemas de controle, automação e instrumentação específicos para a indústria de petróleo e gás, fornecendo conhecimentos básicos necessários para a participação em atividades de Pesquisa e Desenvolvimento nas áreas de otimização de processos, estratégias de controle e automação. A proposta apresentada pelo programa aciPG objetiva a formação de especialistas em controle e áreas correlatas, nos níveis de graduação e pós-graduação para atuação nos setores de petróleo e gás natural.

Situação: Em andamento; Natureza: Projetos de pesquisa

Alunos envolvidos: Graduação (16); Especialização (0); Mestrado acadêmico (7); Mestrado profissionalizante (0); Doutorado (3);

Integrantes: Marinho Bastos Quadri; Ariovaldo Bolzan; Augusto Humberto Bruciapaglia; Ricardo Antonio Francisco Machado; Daniel Juan Pagano; Júlio Elias Normey Rico (Responsável); Pedro Hermes de Araújo

Financiador(es): Agência Nacional do Petróleo-ANP

Número de produções C,T & A: 23/ Número de orientações: 6

5.2. Publicações

Listam-se aqui as publicações resultantes das atividades de pesquisas nas quais o Prof. Marinho B. Quadri atuou ao longo de sua carreira.

5.2.1. Artigos completos publicados em periódicos

1. Rossane Mailde Santos, John Wilmer Parra Llanos, **Marinho Bastos Quadri** & Ivan Carlos C. da Rocha. Study of Drying and Consumption of Natural Gas in a Textile Stenter of Direct Heating. Drying Technology: An International Journal. DOI:10.1080/07373937.2014.932286, 2014.
2. LOPES, T. J., GONÇALVES, O. H., QUADRI, M. G. N., MACHADO, R. A. F., **QUADRI, M. B.** ADSORPTION OF ANTHOCYANINS USING CLAY-

- POLYETHYLENE NANOCOMPOSITE PARTICLES. *Applied Clay Science* (Print). Fator de Impacto(2013 JCR): 2,7030, v.87, p.298 - 302, 2014.
3. PIAIA, J. C. Z., **QUADRI, M. B.**, BOLZAN, A. Comportamento Higroscópico da Linguiça tipo Calabresa. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial.* , v.06, p.739 - 746, 2012.
 4. NOGUEIRA, A.L., **QUADRI, M. B.**, ARAÚJO, P.H.H., Machado, R.A.F., MACHADO, R. A. F. Influence of Semi-Batch Operations on Morphological Properties of Polystyrene Made in Suspension Polymerization. *Procedia Engineering.* , v.42, p.1045 - 1052, 2012.
 5. Costa, A.E., Santana, A., **Quadri, M.B.**, Machado, R.A.F., Recasens, F., Larrayoz, M.A. Glycerol desorption from ion exchange and adsorbent resin using supercritical fluid technology: An optimization study. *The Journal of Supercritical Fluids.* Fator de Impacto(2013 JCR): 2,5710, v.58, p.226 - 232, 2011.
 6. Manozzo GALANTE, Raquel, **Bastos QUADRI, Marinho**, Francisco MACHADO, Ricardo Antônio, Novy QUADRI, Mara Gabriela. Modelagem e simulação do processo de extração de inulina a partir do alho (*Allium sativum* L. var. chonan) em batelada para diferentes temperaturas. *Brazilian Journal of Food Technology (Online).* , v.13, p.174 - 181, 2010.
 7. MARIANO, G. C., BAPTISTA, Renan Martins, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, Ariovaldo, **Quadri, Marinho Bastos**. Um estudo CFD de vazamento de óleo a partir de dutos submersos. *Revista Petroquímica, Petróleo, Gás & Química.* , v.321, p.1 - 6, 2010.
 8. Werle, Leandro O, Teleken, Joel G, MARANGONI, C, **QUADRI, M. B.**, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. CFD SIMULATION OF MULTIPHASE FLOW IN A SIEVE TRAY OF A DISTILLATION COLUMN. *Brazilian journal of petroleum and gas.* , v.3, p.93 - 102, 2009.
 9. BAPTISTA, Renan Martins, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, **QUADRI, M. B.**, BOLZAN, Ariovaldo, Nogueira, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson. New Developments for the Description of Oil Leakages by Advective Migration From Submarine Pipelines. *Journal of Pressure Vessel Technology.* Fator de Impacto(2013 JCR): 0,2700, v.131, p.031701-1 - 031701-8, 2009.
 10. XAVIER, M. F., LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, Mara Gabriela Novy, **QUADRI, M. B.** Extraction of Red Cabbage Anthocyanins: Optimization of the Operation Conditions of the Column Process. *Brazilian Archives of Biology and Technology.* Fator de Impacto(2013 JCR): 0,4520, v.51, p.143 - 152, 2008.

11. QUADRI, Mara Gabriela Novy, **QUADRI, M. B.**, MENDES, R.M.O. Matérias estranhas em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil) beneficiada no estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz.* , v.66, p.103 - 107, 2008.
12. LOPES, T. J., XAVIER, M. F., QUADRI, Mara Gabriela Novy, **QUADRI, M. B.** ANTOCIANINAS: UMA BREVE REVISÃO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E DA ESTABILIDADE. *Revista Brasileira de Agrociência.* , v.13, p.1 - 7, 2007.
13. SCHULTZ, E. L., MAZZUCO, M. M., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, Ariovaldo, **QUADRI, M. B.**, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Effect of pre-treatments on drying, density and shrinkage of apple slices. *Journal of Food Engineering. Fator de Impacto(2013 JCR): 2,5760*, v.78, p.1103 - 1110, 2007.
14. XAVIER, M.F., LOPES, T.J., QUADRI, Mara Gabriela Novy, **QUADRI, M. B.** EXTRACTION OF RED CABBAGE ANTHOCYANINS: OPTIMIZATION OF THE OPERATION CONDITIONS IN COLUMN PROCESS. *Brazilian Archives of Biology and Technology. Fator de Impacto(2013 JCR): 0,4520*, v.50, p.no prelo - , 2007.
15. MENDES, R.M.O., **QUADRI, M. B.**, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Matérias estranhas em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St Hil). *Revista do Instituto Adolfo Lutz.* , v.66, p.103 - 107, 2007.
16. LOPES, T.J., GONÇALVES, O H, QUADRI, Mara Gabriela Novy, **QUADRI, M. B.** Production of a Clay-Polymer Composite Aiming the Removal of Residual Sodium from Biodiesel. *Macromolecular Symposia. Fator de Impacto(2004 JCR): 0,6910*, v.245-24, p.191 - 198, 2007.
17. LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, Mara Gabriela Novy, **QUADRI, M. B.** Recovery of anthocyanins from red cabbage using sandy porous medium enriched with clay. *Applied Clay Science. Fator de Impacto(2013 JCR): 2,7030*, v.37, p.97 - 106, 2007.
18. NOGUEIRA, André Lourenço, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, **QUADRI, M. B.**, LONA, Liliane M F. Simulação Numérica Aplicada para Avaliar o Efeito da Pré-polimerização no Comportamento de Reatores Tubulares. *Polímeros. Fator de Impacto(2013 JCR): 0,6320*, v.17, p.250 - 257, 2007.
19. MARIANO, G. C., LOPES, T. J., QUADRI, Mara Gabriela Novy, BAPTISTA, Renan Martins, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, **QUADRI, M. B.**, Fabrício F Cardoso, NOGUEIRA, André Lourenço. Um estudo experimental sobre a instabilidade da interface no deslocamento de óleo por injeção de água. *Revista Petroquímica, Petróleo, Gás & Química.* , v.299, p.39 - 45, 2007.
20. **QUADRI, M. B.**, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, Ariovaldo, BAPTISTA, Renan Martins, NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson.

- Experimentação e Modelagem da Fluidodinâmica de Deslocamento de Sistemas Água-Óleo. *Revista Petroquímica, Petróleo, Gás & Química*. , v.287, p.94 - 102, 2006.
21. LOPES, Toni Jefferson, **QUADRI, M. B.**, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Experimental Study on the Absorption of Commercial Anthocyanins from Red Cabbage by Clay in a Batch Process. *Brazilian Journal of Food Technology (ITAL)*. , v.9, p.49 - 56, 2006.
22. NOGUEIRA, André Lourenço, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, **QUADRI, M. B.** Styrene Suspension Polymerization Using a Stirred Vertical Tubular Reactor. *Macromolecular Symposia. Fator de Impacto(2004 JCR): 0,6910*, v.245, p.398 - 402, 2006.
23. LOPES, Toni Jefferson, GONÇALVES, Odinei Hess, BARROS, Ricardo Barbosa, CAPELLI, Francine Carla Rodrigues, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy, **QUADRI, M. B.** Adsorption of Natural dyes on Clay Fixed on Polymers. *Brazilian Archives of Biology and Technology. Fator de Impacto(2013 JCR): 0,4520*, v.48, p.275 - 280, 2005.
24. LOPES, T. J., MACHADO, R. A. F., MACHADO, R. A. F., **QUADRI, M. B.**, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Argila: uma breve revisão dos aspectos fundamentais e sua importância na indústria. *Acta Ambiental Catarinense*. , v.4, p.72 - 84, 2005.
25. **QUADRI, M. B.**, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BAPTISTA, Renan Martins, FIORESE, Eliana Kátia, NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson. STUDY OF THE FLUID DYNAMICS AND DISPLACEMENT EFFICIENCY IN WATER-OIL SYSTEMS. *Revista Petroquímica, Petróleo, Gás & Química*. , p.111 - 120, 2005.
26. COUTINHO, Mônica Ronobo, **QUADRI, M. B.**, MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz, QUADRI, Mara Gabriela Novy. PARTIAL PURIFICATION OF ANTHOCYANINS FROM Brassica oleracea (RED CABBAGE). *Separation Science and Technology (Print)*. Fator de Impacto(2013 JCR): 1,2000, v.39, p.3769 - 3782, 2004.
27. ALMEIDA FILHO, C., SILVA, C M, **QUADRI, M. B.**, MACEDO, E A. Infinite Dilution Diffusion Coefficients of Linalool and Benzene in Supercritical Carbon Dioxide. *Journal of Chemical and Engineering Data*. Fator de Impacto(2013 JCR): 2,0450, v.47, p.1351 - 1354, 2002.
28. ALMEIDA FILHO, C., SILVA, C M, **QUADRI, M. B.**, MACEDO, E. A. Tracer diffusion coefficients of citral and D-limonene in supercritical carbon dioxide. *Fluid Phase Equilibria*. Fator de Impacto(2013 JCR): 2,2410, v.204, p.65 - 73, 2002.
29. **QUADRI, M. B.**, CLOTHIER, B. E., JARAMILLO, R. A., VAUCLIN, M., GREEN, S. R. AXISYMMETRIC TRANSPORT OF WATER AND SOLUTE UNDERNEATH

A DISK PERMEAMETER: EXPERIMENTS AND NUMERICAL MODEL. Soil Science Society of America Journal. Fator de Impacto(2013 JCR): 2,0000, v.58, p.696 - 703, 1994.

5.2.2. Capítulos de livros publicados

1. GALANTE, Raquel Manozzo, Werle, Leandro O, **QUADRI, M. B.**, Machado, R.A.F., BOLZAN, A. Energias Renováveis In: A engenharia como motor para a inovação e desenvolvimento.1 ed.Porto-Portugal : LusoImpress S.A., 2014, v.1, p. 307-308.
2. PERGHER, B. B., **Quadri, M.B.**, FELLER, R., SANTOS, M. C., BOLZAN, Ariovaldo. Indústria Extrativa e Desenvolvimento Sustentável In: A Engenharia Como Alavanca Para o Desenvolvimento e Sustentabilidade.1 ed.Porto - Portugal : INEGI, 2011, p. 1-1188.
3. GALANTE, Raquel Manozzo, **QUADRI, M. B.**, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy, Werle, Leandro O. Modeling, Supporting Methods and Tools In: COMPUTER AIDED CHEMICAL ENGINEERING - 10TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROCESS SYSTEMS ENGINEERING - PSE2009, 27 ed.Rio de Janeiro : Elsevier, 2009, v.27
4. GALANTE, Raquel Manozzo, **QUADRI, M. B.**, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Agricultura, Desenvolvimento e Políticas Rurais In: A Engenharia no Combate a Pobreza, pelo Desenvolvimento e Competitividade.1 ed.Porto, Portugal : INEGI, 2008, v.1, p. 481-484.
5. BAPTISTA, Renan Martins, **QUADRI, M. B.**, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, Ariovaldo, NOGUEIRA, A. L., LOPES, T. J., MARIANO, G. C.Effective Interfacial Tension and Geometrical Parameters Relationship for The Description of Oil Leakages from Submarine Pipelines In: Selected Papers of The Eight Italian Conference on Chemical and Process Engineering ed.Milano : Reed Business Information S.p.A., 2007, v.8, p. 9-18.

5.2.3. Trabalhos publicados em anais de eventos (completo)

1. GONÇALVES Camila da Silva, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Marinho, MIOTTO, Fábio, TRAMONTIN, Deise Parolo. Simulação de películas líquidas descendentes pela parede interna de um tubo vertical In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
2. SIMIONI, Débora Raquel, QUADRI, Marinho, BOLZAN, Ariovaldo. Estudo Experimental E De Simulação Cfd Do Gotejamento De Óleo A Partir De Uma Pequena

- Fonte Cilíndrica Submersa Em Água In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
3. TRAMONTIN, Deise Parolo, QUADRI, Marinho, MIOTTO, Fábio, GONÇALVES, Camila da Silva. Estudo De Simulação Da Inversão Água/Óleo Com A Utilização Do Método Level Set In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
 4. MIOTTO, Fábio, QUADRI, Marinho, GONÇALVES, Camila da Silva, TRAMONTIN, Deise Parolo. Modelagem E Simulação Do Escoamento Imiscível De Água E Óleo Através De Um Canal Sob Diferentes Condições Operacionais In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
 5. AVELAR, Felipe Del Monaco, QUADRI, Marinho. Simulação Fenomenológica da Emissão de Material Particulado a Partir de uma Chaminé Industrial In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
 6. PARRA, John Wilmer, QUADRI, Marinho. Estudo da Transferência de Calor Promovida por um Sistema de Bicos de Injeção de Ar Quente Sobre uma Superfície de Algodão In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
 7. BIEHL Jonata, QUADRI, Marinho, DOS SANTOS, Mauricio Carvalho, ULIANA, Nilva Regina. Simulação em Meio Subaquático do Escoamento Imiscível de um Jato de Óleo para o Interior de um Reservatório de Coleta In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
 8. ULIANA, Nilva Regina, QUADRI, Marinho, MACHADO, Ricardo, OLIVEIRA, José Vladimir de. Aplicação De Adsorvente Alternativo Para Purificação De Um Resíduo De Glicerina In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
 9. SIMIONI, Taysnara, SIMIONI, Débora Raquel, ULIANA, Nilva Regina, QUADRI, Marinho. Simulação do Vazamento de Óleo a Partir de um Recipiente Afunilado Submerso em Água In: COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
 10. LOPES, Toni Jefferson, CAMARGO, Murilo dos Santos, SCARDUELI, Mariana Dagostin, DOS SANTOS, Nara Lúcia, DOS SANTOS, Martina Andrade, QUADRI, Marinho, KURZ, Marcia Helena Scherer, GONÇALVES, Fábio Ferreira. Adsorção de 3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetiluréia (DIURON) Utilizando Pinha de *Pinus elliottii* In:

- COBEQ2014, Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Florianópolis/SC: ABEQ-UFSC, 2014. v.1. p. 1-8
11. GALANTE, Raquel Manozzo, Werle, Leandro O, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, A. Simulation of reaction flow in industrial - scale tubular reactor for biodiesel production In: 7º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2014, Inhambane. Proceedings CLME2014 / IVCEM. Porto/Portugal: Feup, 2014. p.307 - 310
 12. PERGHER, B. B., SIMIONI, D. R., BIEHL, J. B., Quadri, M.B., SANTOS, M. C., FELLER, R. Experimento e Simulação do Recolhimento de Óleo com Sacos Desdobráveis em Meio Subaquáticos In: VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2012, Criciúma. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental. Criciúma: UNESC, 2012. v.1. p.537 - 544
 13. GALANTE, Raquel Manozzo, Quadri, M.B., BOLZAN, Ariovaldo. Simulação de um Reator Tubular em Escala Industrial para Produção de Biodiesel In: COBEQ2012, Búzios, RJ. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Rio de Janeiro: ABEQ-UFRJ, 2012. v.1. p.10741 - 10750
 14. NOGUEIRA, A. L., Quadri, M.B., MACHADO, R. A. F., ARAÚJO, Pedro Hermes de, BOLZAN, A. Styrene Suspension Polymerization: Influence of Semi-Batch Operation On Morphological Properties In: COBEQ2012 XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2012, Búzios, RJ. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Rio de Janeiro: ABEQ-UFRJ, 2012. v.1. p.12580 - 12587
 15. FARRA, S. O. D., Quadri, Marinho Bastos, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco
A CFD STUDY OF A STIRRED CONTINUOUS REACTOR FOR THE PRODUCTION OF POLYSTYRENE IN AQUEOUS SUSPENSION In: 11º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2011, Campos do Jordão - SP. 11º Congresso brasileiro de polímeros. São Carlos - SP: ABPol, 2011. p.1 - 6
 16. Morais, P.C., GARCIA, F M, Giaretton, J., Quadri, Marinho Bastos. APLICAÇÃO DE SENSORES VIBROACÚSTICOS PARA DETERMINAÇÃO DE VAZAMENTOS DE ÁGUA EM DUTOS VOLTADA PARA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 2011, Florianópolis - SC. ANAIS DO 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS. Florianópolis: UFSC, 2011. p.1 - 8
 17. PERGHER, B. B., Quadri, Marinho Bastos, FELLER, R., SANTOS, M. C., BOLZAN, Ariovaldo. ESTUDO TEÓRICO/EXPERIMENTAL SOBRE AS CONDIÇÕES DE CAPTURA E REMOÇÃO DE ÓLEO PROVENIENTE DE VAZAMENTOS

- SUBAQUÁTICOS In: 6º CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 2011, Maputo. Proceedings CLME'2011/IIICEM. Porto - Portugal: INEGI, 2011. p.1 - 12
18. Quadri, Marinho Bastos, SANTOS, M. C., BOLZAN, Ariovaldo, FELLER, R., PERGHER, B. B., SOARES, G. S. EXPERIMENTAL AND MODELLING STUDY TO CAPTURE OF LEAKING OIL IN UNDERWATER ENVIRONMENT In: Rio Pipeline Conference & Exposition 2011, 2011, Rio de Janeiro. Proceedings of Rio Pipeline Conference & Exposition 2011. Rio de Janeiro: IBP, 2011. p.1 - 6
19. GARCIA, F M, Quadri, M.B., BOLZAN, Ariovaldo. FLUID DYNAMICS SIMULATION OF GAS LEAKS FROM INDUSTRIAL PIPES In: Rio Pipeline Conference & Exposition 2011, 2011, Rio de Janeiro. Proceedings of Rio Pipeline Conference & Exposition 2011. Rio de Janeiro: IBP, 2011. p.1 - 6
20. COSTA, Adriana Elaine da, DIAS, Rafael, Quadri, Marinho Bastos, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, Ariovaldo. PURIFICAÇÃO PARCIAL DE BIODIESEL ETÍLICO POR ADSORÇÃO EM BENTONITA E DIATOMITA In: 6º Congresso Internacional de Bioenergia, 2011, Curitiba - PR. Anais do 6º Congresso Internacional de Bioenergia. Curitiba: UFPR, 2011. p.1 - 9
21. GALANTE, Raquel Manozzo, Bastos QUADRI, Marinho, BOLZAN, Ariovaldo. SIMULAÇÃO DE UM REATOR TUBULAR CONTÍNUO PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR VIA ETÍLICA In: 6º CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 2011, Maputo. Proceedings CLME'2011/IIICEM. Porto - Portugal: INEGI, 2011. p.1 - 13
22. GALANTE, Raquel Manozzo, Quadri, Marinho Bastos, BOLZAN, Ariovaldo. SIMULAÇÃO MULTIFÍSICA DO FLUXO REACIONAL PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL In: 6º Congresso Internacional de Bioenergia, 2011, Curitiba - PR. Anais do 6º Congresso Internacional de Bioenergia. Curitiba - PR: UFPR, 2011. p.1 - 10
23. GARCIA, F M, Morais, P.C., Giaretton, J., Quadri, Marinho Bastos. VIBROACUSTIC CHARACTERIZATION OF WATER LEAK IN A PIPE SECTION FOR APPLICATIONS IN OIL AND GAS INDUSTRY In: Rio Pipeline Conference & Exposition 2011, 2011, rio de Janeiro. Proceedings of Rio Pipeline Conference & Exposition 2011. Rio de Janeiro: IBP, 2011. p.1 - 6
24. GARCIA, F M, QUADRI, M. B., MACHADO, R. A. F., BOLZAN, Ariovaldo. ANÁLISE DE TEMPO/FREQUÊNCIA PARA A DETECÇÃO VIBROACÚSTICA DE VAZAMENTOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS In: XVIII COBEQ - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2010, Foz do Iguaçu. Anais do XVIII COBEQ - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. Maringá: UEM, 2010. v.1. p.1 - 6

25. GARCIA, F M, QUADRI, M. B., MACHADO, R. A. F., BOLZAN, Ariovaldo. APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN MONITORING OF INDUSTRIAL PIPES In: VI CAIQ Congreso Argentino de Ingenieria Química, 2010, Buenos Aires. VI CAIQ Congreso Argentino de Ingenieria Química. , 2010. v.1. p.1 - 6
26. GARCIA, F M, QUADRI, M. B., MACHADO, R. A. F., BOLZAN, Ariovaldo. DESENVOLVIMENTO DE UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA A DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM UMA SEÇÃO DE DUTO INDUSTRIAL In: XVIII COBEQ - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2010, Foz do Iguaçu. Anais do XVIII COBEQ - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. Maringá: UEM, 2010. v.1. p.1 - 6
27. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B. Simulação CFD do escoamento reacional em reator contínuo tubular para produção de biodiesel etílico In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2010, Foz do Iguaçu. Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Maringá: UEM, 2010. v.1. p.1 - 6
28. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B. Simulação da cinética e comportamento da reação de transesterificação para a produção de biodiesel etílico sob regime batelada e em contínuo In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2010, Foz do Iguaçu. Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Maringá: UEM, 2010. v.1. p.1 - 6
29. SILVA, G. M., QUADRI, M. B., COSTA, Adriana Elaine da, DIAS, Rafael. AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DO GLICEROL LIVRE DO BODIESEL POR ADSORÇÃO In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009, Uberlândia. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia: FEQUI/UFU, 2009. v.1. p.1 - 7
30. Teleken, Joel G, Werle, Leandro O, MARANGONI, C, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B. CFD simulation of multiphase flow in a distillation column sieve tray In: VIII IBEROAMERICAN CONFERENCE ON PHASE EQUILIBRIA AND FLUID PROPERTIES FOR PROCESS DESIGN – EQUIFASE 2009, 2009, Praia da Rocha. Proceedings of the VIII IBEROAMERICAN CONFERENCE ON PHASE EQUILIBRIA AND FLUID PROPERTIES FOR PROCESS DESIGN – EQUIFASE 2009. Porto: U.Porto, 2009. v.1. p.1 - 7
31. COSTA, Adriana Elaine da, DIAS, Rafael, SILVA, G. M., QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. CORREÇÃO DO TEOR DE GLICEROL LIVRE DO BODIESEL POR ADSORÇÃO EM DIATOMITA In: IV Congresso Internacional de Bioenergia, 2009, Curitiba. Anais do IV Congresso Internacional de Bioenergia. Curitiba: UFPR, 2009. v.1. p.1 - 10

32. Andrei Pavei Battisti, Daniel Torquato Elias, DIAS, Rafael, QUADRI, M. B. DETERMINAÇÃO DA CONVERSÃO DO ÓLEO EM BIODIESEL NA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO POR RMN H E HPLC In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009, Uberlândia. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia: FEQUI/UFU, 2009. v.1. p.1 - 5
33. GARCIA, F M, BOLZAN, Ariovaldo, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B. ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO VIBROACÚSTICA DE VAZAMENTOS A PARTIR DE SEÇÕES DE DUTOS PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 2009, Fortaleza. ANAIS DO 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS. Fortaleza: UFC, 2009. v.1. p.1 - 8
34. Werle, Leandro O, MARANGONI, C, Teleken, Joel G, SAYER, C., QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. FLUID DYNAMIC MODEL AND CONTROL OF DISTILLATION COLUMNS WITH DISTRIBUTED HEATING In: 8th World Congress of Chemical Engineering (WCCE8), 2009, Montreal. Proceedings of the 8th World Congress of Chemical Engineering (WCCE8). Montreal: WCCE8, 2009. v.1. p.1 - 6
35. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy, Werle, Leandro O. Modeling and simulation the batch extraction of inulin from garlic (*Allium sativum* L. var. Chonan) for different temperatures In: 10th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE2009, 2009, Salvador. Anais do 10th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE2009. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. v.1. p.1 - 7
36. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy, Werle, Leandro O. Modeling and simulation the fixed bed column extraction of inulin from garlic (*Allium sativum* L. var. Chonan) In: 10th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE2009, 2009, Salvador. Proceedings of the 10th International Symposium on Process Systems Engineering - PSE2009. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. p.1029 - 1035
37. Teleken, Joel G, Werle, Leandro O, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. Modelo Fluidodinâmico de Pratos Perfurados de uma Unidade Piloto de Destilação In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 2009, Fortaleza. ANAIS DO 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS. Fortaleza: UFC, 2009. v.1. p.1 - 8

38. DIAS, Rafael, COSTA, Adriana Elaine da, Daniel Torquato Elias, Andrei Pavei Battisti, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. OTIMIZAÇÃO DA SÍNTESE DE BIODIESEL EM MEIO BÁSICO SOB ENERGIA DE MICROONDAS In: IV Congresso Internacional de Bioenergia, 2009, Curitiba. Anais do IV Congresso Internacional de Bioenergia. Curitiba: UFPR, 2009. v.1. p.1 - 8
39. Daniel Torquato Elias, Andrei Pavei Battisti, DIAS, Rafael, QUADRI, M. B. PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICAÇÃO VIA CATÁLISE BÁSICA EM FORNO DE MICROONDAS In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009, Uberlândia. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia: FEQUI/UFU, 2009. v.1. p.1 - 6
40. OLIVEIRA, Barbara Yuri de, MARIANO, G. C., QUADRI, M. B. UM ESTUDO CFD DE VAZAMENTO DE ÓLEO A PARTIR DE DUTOS SUBMERSOS In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009, Uberlândia. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia: FEQUI/UFU, 2009. v.1. p.1 - 6
41. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, Vandresen, S., QUADRI, Mara Gabriela Novy. Caracterização da Inulina em Extratos de Alho (*Allium sativum* L. var. Chonan) Obtidos a Diferentes Temperaturas In: Simpósio Brasileiro de Aproveitamento de Subprodutos e Resíduos da Indústria de Alimentos, 2008, Simpósio Brasileiro de Aproveitamento de Subprodutos e Resíduos da Indústria de Alimentos. Campinas/SP: ITAL, 2008. v.1. p.1 - 6
42. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. CARACTERIZAÇÃO DE EXTRATOS DE ALHO (*ALLIUM SATIVUM* L.) E TEORES DE INULINA OBTIDOS A DIFERENTES TEMPERATURAS In: VII Brazilian Meeting on Chemistry of Food and Beverages, 2008, VII BMCFB. Lorena / SP: EEL-USP, 2008. v.1. p.1 - 10
43. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS EM BATELADA SOB DIFERENTES TEMPERATURAS E EM COLUNA DE LEITO FIXO PARA A EXTRAÇÃO DE INULINA DO ALHO (*ALLIUM SATIVUM* L.) In: VII Brazilian Meeting on Chemistry of Food and Beverages, 2008, VII BMCFB. Lorena / SP: EEL-USP, 2008. v.1. p.1 - 18
44. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Evaluation of the Temperature Effect on The Batch Extraction of Inulin From Garlic (*Allium Sativum* L. var. Chonan) In: XVII

- Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2008, XVII Cobeq - Engenharia Química: Energia e Novos Desafios. Recife/PE: Wave Media, 2008. v.1. p.1 - 6
45. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, Vandresen, S., QUADRI, Mara Gabriela Novy. Extração em batelada de inulina a partir do alho (*Allium sativum* L. var. Chonan) In: Simpósio Brasileiro de Aproveitamento de Subprodutos e Resíduos da Indústria de Alimentos, 2008, Campinas/SP. Simpósio Brasileiro de Aproveitamento de Subprodutos e Resíduos da Indústria de Alimentos. Campinas/SP: ITAL, 2008. v.1. p.1 - 6
46. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Fixed Bed Column Extraction of Inulin From Garlic (*Allium sativum* L. var. Chonan) In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2008, XVII Cobeq - Engenharia Química: Energia e Novos Desafios. Recife/PE: Wave Media, 2008. v.1. p.1 - 5
47. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE INULINA A PARTIR DO ALHO (*ALLIUM SATIVUM* L. VAR. CHONAN) EM BATELADA PARA DIFERENTES TEMPERATURAS In: 5o Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2008, Maputo. Proceedings CLME'2008 / IICEM. Porto, Portugal: Edições INEGI, 2008. v.1. p.1 - 11
48. GALANTE, Raquel Manozzo, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Modelagem e Simulação do Processo de Extração de Inulina a Partir do Alho (*Allium sativum* L. var. Chonan) em Coluna de Leito Fixo In: 5o Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2008, Maputo. Proceedings CLME'2008 / IICEM. Porto, Portugal: Edições INEGI, 2008. v.1. p.1 - 8
49. DIAS, Rafael, COSTA, Adriana Elaine da, BRANDOLT, M. F. L., GAVANSKI, V., QUADRI, M. B. Produção de Biodiesel Via Ácida Utilizando Óleo de Fritura e Etanol em Microondas In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2008, XVII Cobeq'2008: Engenharia Química: Energia e Novos Desafios. Recife/PE: Wave Media, 2008. v.1. p.1 - 5
50. COSTA, Adriana Elaine da, QUADRI, M. B., DIAS, Rafael, SILVA, G. M., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. Purificação de Biodiesel Etílico por Adsorção Obtido por Transesterificação de Óleo Residual de Fritura In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2008, Cobeq'2009 - Engenharia Química: Energia e Novos Desafios. Recife/PE: Wave Media, 2008. v.1. p.1 - 6
51. BAPTISTA, Renan Martins, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, Ariovaldo, NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson, MARIANO, G. C. Effective Interfacial Tension And Geometrical Parameters

- Relationship For The Description Of Oil Leakages From Submarine Pipelines In: ICheaP-8, 2007, Ischia. International Conference on Chemical and Process Engineering. Milano: AIDIC Servizi S.r.l., 2007. v.11. p.401 - 406
52. MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BAPTISTA, Renan Martins, QUADRI, M. B., BOLZAN, Ariovaldo, MARIANO, G. C., NOGUEIRA, A. L., LOPES, T. J. Experimental Study of Oil Leakages Applied to Submarine Pipelines In: Rio Pipeline 2007 Conference & Exposition, 2007, Rio Pipeline Proceedings 2007. Rio de Janeiro: IBP, 2007. v.1. p.1 - 8
53. LOPES, Toni Jefferson, GONÇALVES, Odinei Hess, QUADRI, Mara Gabriela Novy, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B. Modelling the Batch Adsorption of Red Cabbage Anthocyanins on Clay-Polymer Composites In: ICheaP-8, 2007, Ischia. International Conference on Chemical and Process Engineering. Milano: AIDIC Servizi S.r.l., 2007. v.11. p.635 - 640
54. CLAUMANN, C. A., QUADRI, M. B., ROQUEIRO, Nestor, BOLZAN, Ariovaldo, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, DITZ, C.H., BAPTISTA, Renan Martins. Simulação CFD da Onda Acústica Gerada por Vazamentos em Dutos In: Rio Pipeline 2007 Conference & Exposition, 2007, Rio de Janeiro. Rio Pipeline Proceedings 2007. Rio de Janeiro: IBP, 2007. v.1. p.1 - 8
55. MARIANO, G. C., QUADRI, M. B., LOPES, T. J., Cardoso, F.F., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Um estudo experimental sobre a instabilidade da interface no deslocamento de óleo por injeção de água In: 4o Congresso Brasileiro de Pesquisa e desenvolvimento em Petróleo e Gás, 2007, Campinas. Anais do 4o PDPETRO, 2007. Campinas: ABPG/Unicamp, 2007. p.1 - 8
56. LOPES, T. J., GONÇALVES, Odinei Hess, QUADRI, Mara Gabriela Novy, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B. APLICAÇÃO DE SUPORTES POLIMÉRICOS PARA LEITOS DE ADSORÇÃO DE ANTOCIANINAS In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2006, Santos. Cobeq 2006. São Paulo: USP, 2006. v.1. p.1 - 8
57. NOGUEIRA, A. L., H D P Cardoso, KOSTETZER, Lucas A., KIHARA, K. Y. O., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B. AVALIAÇÃO DA OPERAÇÃO SEMI-BATELADA APLICADA EM REAÇÕES DE POLIMERIZAÇÃO DO ESTIRENO EM SUSPENSÃO In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2006, Santos. Cobeq 2006. São Paulo: USP, 2006. v.1. p.1 - 8
58. Marcela K Silva, BRANDOLT, H. G., Carlos Alberto Claumann, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B. ESTUDO DE REFINAMENTO DE MALHA NA SIMULAÇÃO DE UM CICLONE In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2006, Santos. Cobeq 2006. São Paulo: USP, 2006. v.1. p.1 - 8

59. BAPTISTA, Renan Martins, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B., BOLZAN, Ariovaldo, NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson. New Developments for the Description of Oil Leakages by Advective Migration From Submarine Pipelines In: International Pipeline Conference, 2006, Alberta. Proceedings of IPC 2006. New York: ASME, 2006. v.1. p.1 - 8
60. NASATTO, Fabiola Christine Landine, LOPES, Toni Jefferson, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BOLZAN, Ariovaldo, QUADRI, M. B., QUADRI, Mara Gabriela Novy. Influência da extração na cor de antocianinas provenientes de repolho roxo. In: Simpósio em Ciência de Alimentos, 2005, Florianópolis. Simpósio em Ciência de Alimentos. , 2005.
61. NOGUEIRA, André Lourenço, QUADRI, M. B., LOPES, Toni Jefferson, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BAPTISTA, Renan Martins. MODELAGEM MATEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA FLUIDODINÂMICA E EFICIÊNCIA DE PROCESSOS ENVOLVENDO DESLOCAMENTOS DE LÍQUIDOS IMISCÍVEIS In: 3 Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, 2005, Salvador. 3 Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. , 2005.
62. LOPES, Toni Jefferson, GONÇALVES, Odinei Hess, CAPELLI, F C R, BARROS, Ricardo Barbosa, QUADRI, Mara Gabriela Novy, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B.
Pellets of Clay and Polymers for application on adsorption processes of anthocyanins present in red cabbage. In: Enpromer - 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering - 4th Mercorsul Congress on Process Systems Engineering, 2005, Rio de Janeiro, 2005.
63. LOPES, Toni Jefferson, BARROS, Ricardo Barbosa, NASATTO, Fabiola Christine Landine, GONÇALVES, Odinei Hess, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, Mara Gabriela Novy. UTILIZAÇÃO DE POLÍMERO NA ADSORÇÃO EM BATELADA DE ANTOCIANINAS DO REPOLHO ROXO EM ARGILA In: Simpósio em Ciência de Alimentos, 2005, Florianópolis, 2005.
64. COSTA, Adriana Elaine da, ROSSO, Sibele Recco, QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B. Adsorção e Purificação de Corantes Naturais com Sílica Amorfa In: Enemp - 2004, 2004, Uberlândia. Anais XXXI ENEMP 2004. Uberlândia: UFU, 2004. p.1 - 8
65. BASSETTI, F J, PERES, L, PETRUS, J C C, QUADRI, M. B. Aplicação de um modelo numérico na ultrafiltração do soro de queijo In: XV COBEQ, 2004, Curitiba. Anais do XV Cobeq. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004. v.1. p.1 - 8
66. QUADRI, M. B., NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BAPTISTA, Renan Martins. Desenvolvimento de Software para estimativa do volume vazado a partir de dutos submarinos rompidos In:

- Rio & Oil 2004, 2004, Rio de Janeiro. Anais do Rio & Oil 2004. Rio de Janeiro: , 2004. v.1. p.1 - 8
67. FIORESE, Eliana Kátia, QUADRI, M. B., BAPTISTA, Renan Martins, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson. Estudo da fluidodinâmica e da eficiência de deslocamento em sistemas água-óleo In: Rio & Oil 2004, 2004, Rio de Janeiro. Anais do Rio & Oil 2004. , 2004. v.1. p.1 - 8
68. BRANDOLT, Henry G, QUADRI, M. B., ROQUEIRO, Nestor, MARTIGNONI, Waldir Pedro. Estudo da Influência da Configuração de Saída na Fluidodinâmica de um Riser de FCC In: ENEMP - 2004, 2004, Uberlândia. Anais XXXI Enemp 2004. Uberlândia: UFU, 2004. p.1 - 7
69. LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, M. B., NOGUEIRA, André Lourenço, QUADRI, Mara Gabriela Novy, FIORESE, Eliana Kátia, BOLZAN, Ariovaldo, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. Estudo da tensão interfacial e viscosidade em sistemas água-óleo e recuperação de petróleo em jazidas do Brasil In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2004, 2004, Curitiba, Anais do COBEQ 2004. , 2004. v.1. p.1 - 8
70. LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, M. B., QUADRI, Mara Gabriela Novy, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, CAPELLI, Francine Carla Rodrigues, GONÇALVES, Odinei Hess, BARROS, Ricardo Barbosa. Fixação de Argila em Polímeros para Uso em Processos de Adsorção de Corantes Naturais In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2004, 2004, Curitiba, Anais do COBEQ 2004. , 2004. v.1. p.1 - 8
71. BAPTISTA, Renan Martins, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B., NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson. Mathematical approach to foresee the oil volume leaked by migration from a submarine in case of accident In: International Pipeline Conference 2004, 2004, Calgary. International Pipeline Conference 2004 The Power of Technology. New York: ASME, 2004. v.1. p.573 - 580
72. BARROS, Ricardo Barbosa, GONÇALVES, Odinei Hess, LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco. Utilização de partículas poliméricas como suporte para meios adsorventes In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia 2004, 2004, Curitiba. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 2004. v.1. p.1 - 8
73. BASSETTI, F J, PERES, L, PETRUS, J C C, QUADRI, M. B. Aplicação de um modelo numérico na ultrafiltração do soro de queijo In: IV Congresso Ibero-Americano em Ciências e Tecnologia de Membranas, 2003, Anais do IV Congresso Ibero-Americano

- em Ciências e Tecnologia de Membranas. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. v.1. p.648 - 653
74. NASATTO, Fabíola Christine Landine, QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B. Estabilidade da Antocianina de Cebola (*Allium cepa*) ao Oxigênio e à Luz In: II Simpósio em Ciência de Alimentos - SIMPOCAL, 2003, Anais do II Simpósio em Ciência de Alimentos - Alimentos e Saúde. Florianópolis: UFSC, 2003. v.1. p.346 - 349
75. GHIGGI, Fabiana, CAPELLI, F C R, BOTELHO, Kilça Tanaka, COAN, T, NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson, FIORESE, Eliana Kátia, MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, QUADRI, M. B., BOLZAN, Ariovaldo. Estudo da tensão interfacial em sistemas água-óleo na extração de petróleo em jazidas do Brasil In: V Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2003, Seropédica. Anais do V Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Seropédica: UFRRJ, 2003. v.1. p.1 - 6
76. ROSSO, SibeRe Recco, QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B. Isotermas de Sorção do Extrato de Repolho Roxo (*Brassica oleracea*) sobre Carvão Ativo In: II Simpósio em Ciência de Alimentos - SIMPOCAL, 2003, anais do II Simpósio em Ciência de Alimentos - Alimentos e Saúde. Florianópolis: UFSC, 2003. v.1. p.403 - 406
77. QUADRI, M. B., MACHADO, Ricardo Antonio Francisco, BAPTISTA, Renan Martins, NOGUEIRA, André Lourenço, LOPES, Toni Jefferson. Surgimento de Instabilidade e Degradação a Partir da Interface em sistemas Água-Óleo In: Rio Pipeline Conference & Exposition 2003, 2003, Anais do Rio Pipeline Conference & Exposition 2003. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2003. v.1. p.1 - 8
78. LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, M. B., MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Adsorção de antocianinas de repolho roxo sobre colunas de argilas In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos, 2002, Porto Alegre. Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos. Rio Grande: FURG, 2002. v.1. p.1906 - 1909
79. LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, M. B., MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Adsorção de antocianinas do repolho roxo (*Brassica oleracea*) em argilas In: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2002, Natal-RN. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Natal: Cobeq-2002, 2002. v.1. p.01 - 08
80. KOHLER, R., JOSÉ, H. J., QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B., MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz. Adsorption and desorption of anthocyanin from grape skins using activated carbon In: II International Congress on Pigments in Food, 2002, Lisboa. Proceedings of the II congress on pigments in food. Lisboa: IST, 2002. v.1. p.13 - 16

81. LOPES, Toni Jefferson, QUADRI, M. B., MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Adsorption of anthocyanins from purple cabbage In: II International Congress on Pigments in Food, 2002, Lisboa. Proceedings of The II Congress on Pigments in Foods. Lisboa: IST, 2002. v.1. p.5 - 8
82. ESAKI, C. Y., QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B. Efeito da umidade relativa sobre o coeficiente de difusão efetivo durante a secagem de erva cidreira (*Cymbopogon citratus*) In: XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2002, Natal-RN. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Natal-RN: Cobeq-2002, 2002. v.1. p.0497 - 0503
83. COUTINHO, Mônica Ronobo, QUADRI, M. B., MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Extration and partial purification of anthocyanins obtaneid from red cabbage. In: II International Congress on Pigments in Food, 2002, Lisboa. Proceedings of The II International Congress on Pigments in Food. Lisboa: IST, 2002. v.1. p.1 - 4
84. COUTINHO, Mônica Ronobo, QUADRI, M. B., MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Separação por adsorção da mistura açúcar-antocianina em *Brassica oleracea* In: XVIII Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos, 2002, Porto Alegre. Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Rio Grande: FURG, 2002. v.1. p.1869 - 1872
85. DANTAS, T. L. P., JOAQUIM, A. M., QUADRI, M. B., MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz, QUADRI, Mara Gabriela Novy. Study of the extration and stability of anthocyanins from *Brassica oleracea* partially purified by adsorption over clays In: II International Congress on Pigments in Food, 2002, Lisboa. Proceedings of the II congress on pigments in food. Lisboa: IST, 2002. v.1. p.9 - 12
86. ALMEIDA FILHO, C., SILVA, C M, QUADRI, M. B., MACEDO, E A. Infinite Dilution Diffusion Coefficients of Linalool in Supercritical Carbon Dioxide In: 1 st Mercosur Congress on Chemical Engineering - Enpromer 2001, 2001, Santa Fé. 1 st Mercosur Congress on Chemical Engineering - Enpromer 2001. Santa Fé: Enpromer, 2001. v.01. p.547 - 552
87. C NETO, N., FERREIRA, G. C. R., QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B. Influência das Condições de secagem Convectiva para Cogumelo Shitake (*Lentinus edodis*) In: XVI Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnologia em Engenharia, 2001, Ijuí-RS. Anais do Cricte 2001. Ijuí-RS: Unijuí, 2001. v.1. p.5 - 8
88. ESAKI, C. Y., QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B. Secagem de Erva Cidreira (*Cymbopogon citratus*):Avaliação do Efeito da Umidade Relativa do Ar. In: Cricte-2001, 2001, Ijuí-RS. Anais do Cricte-2001. Ijuí-RS: Unijuí, 2001. v.1. p.1 - 4

89. ALMEIDA FILHO, C., SILVA, C M, QUADRI, M. B., MACEDO, E A. Tracer diffusion coefficients of b-pinene in supercritical carbon dioxide In: International Chemical Engineering Conference - CHEMPOR 2001, 2001, Aveiro. International Chemical Engineering Conference - CHEMPOR 2001. Aveiro: CHEMPOR, 2001. v.01. p.763 - 770
90. QUADRI, M. B., SANTANA, C. C., CRUZ, J. M. Modelagem Numérica do Processo de Adsorção em Coluna da Insulina sobre a Resina Accel Plus In: II Encontro Brasileiro sobre Adsorção, 1998, Florianópolis: USFC, 2000. v.1. p.231 - 240
91. SCHULTZ, E. L., QUADRI, Mara Gabriela Novy, QUADRI, M. B. Study of convective drying apple slices Kinetics effect on shrinkage In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas - ENCIT2000, 2000, Porto Alegre. Anais do Encit 2000. Porto Alegre: UFRGS, 2000. v.CD. p.1 - 1
92. QUADRI, M. B., QUADRI, Mara Gabriela Novy, ALVES, C. C. A. Um Estudo de Modelagem da Adsorção e Fixação do Pentaclorofenol em um Solo Agrícola da Região de Armazém/SC In: II Encontro Brasileiro sobre Adsorção, 1998, Florianópolis. II Encontro Brasileiro sobre Adsorção - Anais. Florianópolis: UFSC, 2000. v.1. p.221 - 230
93. QUADRI, M. B., BOLZAN, Ariovaldo, BATTESTIN, L. Estudo da Secagem de Tecidos de Algodão Utilizando um Modelo Numérico em Plataforma Windows-PC In: XXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP, 1999, Campos do Jordão - SP. XXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP. São Paulo: USP, 1999. v.1.
94. QUADRI, M. B., PETRUS, José Carlos Cunha. Experimentação e Modelagem dos Efeitos de Temperatura em um Processo de Ultrafiltração com Fluxo Tangencial In: XXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - XXV ENEMP, 1998, Teresópolis. XXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - XXV ENEMP. Seropédica: Imprensa Universitária UFRRJ, 1998. v.1. p.105 - 111
95. QUADRI, M. B., ALVES, C. C. A., QUADRI, Mara Gabriela Novy. Deslocamento e Fixação de Pesticidas no Solo: um Estudo da Importância da Cinética de Adsorção. In: XXV Congresso de Sistemas Particulados - XXV ENEMP, 1997, São Carlos - SP. Congresso de Sistemas Particulados - XXV ENEMP - Anais. São Carlos -SP: UFSCar, 1997. v.2. p.678 - 683
96. QUADRI, M. B. Simulação de Secagem em Camada Delgada Aplicada a Produtos Têxteis In: I Congreso de Ingenieria de Procesos del MERCOSUR - ENPROMER'97, 1997. ed. Bahia Blanca, Argentina, 1997. v.1. p.429 - 430
97. QUADRI, M. B. SIMULATION OF THE DRYING PHENOMENON APPLIED TO TEXTILES In: ENPROMER'97, 1997. BAHIA BLANCA, 1997. v.1. p.429 -

98. QUADRI, M. B., PETRUS, José Carlos Cunha. Um Modelo Numérico para o Processo de Ultrafiltração com Fluxo Tangencial In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (XXV ENEMP), 1997, São Carlos - SP. Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados (XXV ENEMP) - Anais. Florianópolis: UFSCar, 1997. v.1. p.251 - 256
99. QUADRI, M. B. Apresentação de um modelo-simulador do transporte de solutos em colunas de recheio in: proceedings of the latin american congress of heat and mass transfer, 1996. ABCM, 1996. v.3. p.1787 -
100. QUADRI, M. B. Caracterização hidrodinamica de meios porosos envolvendo a utilização de um programa simulador de um tensiometro in: proceedings of the latin american congress of heat and mass transfer, 1996. Abcm, 1996. V.2. P.913 -
101. QUADRI, M. B. Estudo dos parametros relativos ao transporte de solutos no solo. Aplicação ao problema da poluição gerada pela utilização de pesticidas (pentaclorofenol). In: 3a reunião especial da sbpc, 1996. Edeme, 1996. v.1. p.219 -
102. QUADRI, M. B. Inativação de leveduras por ar quente: um estudo preliminar. In: 3a reunião especial da sbpc, 1996. Edeme, 1996. v.1. p.220 -
103. QUADRI, M. B. Secagem de cebola em bandejas utilizando desidratação osmótica como pre-tratamento in: xxiv congresso brasileiro de sistemas particulados (xxiv enemp), 1996. UFU, 1996. v.1. p.313 -
104. QUADRI, M. B. Secagem e inativação de leveduras (s.cerevisiae) in: xxiv congresso brasileiro de sistemas particulados (XXIV ENEMP), 1996. UFU, 1996. v.1. p.208 -
105. QUADRI, M. B. Um modelo para o transporte de solutos através de meios porosos tendo em vista diferentes tipos de interação com a matriz sólida in: 1o encontro brasileiro sobre adsorção, 1996. UFC, 1996.
106. QUADRI, M. B. Estudo da secagem e inativação de leveduras (s. Cerevisiae): resultados preliminares in: i congresso ibero-americano de engenharia de alimentos, 1995. UNICAMP, 1995.
107. QUADRI, M. B. Análise crítica da solução de wooding através de um modelo numérico axissimétrico. In: XXII ENEMP, 1994. UFSC, 1994. v.1. p.228 - 235
108. QUADRI, M. B. Hydrodynamic characterization of an unsaturated clay material in situ versus laboratory measurements. In: scientific colloquium: porous or fractured unsaturated media, 1992. Monte-verita, 1992. v.1. p.132 -
109. QUADRI, M. B. Coeficiente de difusão efetivo em meios porosos em processos de umidificação e secagem. In: XVIII ENEMP, 1990. UFRJ, 1990. v.2. p.561 -
110. QUADRI, M. B. Determinação experimental dos parâmetros fenomenológicos relacionados com o funcionamento de um tensiometro In: ENCIT 88, 1988. ABCM, 1988. v.1. p.303 -

111. QUADRI, M. B. Transferência de umidade em meios porosos insaturados: a dinâmica de resposta de um tensiômetro In: ENCIT 88, 1988. ABCM, 1988. v.1. p.299 -

5.3. Patentes e Registros

- **Reator com cartucho removível para processo de extração ou reação supercrítica em regime batelada ou contínuo.** MARIANO, G. C. ; MARIANO, G. C. ; Bastos QUADRI, Marinho ; BOLZAN, Ariovaldo . 2012, Brasil. Patente: Modelo de Utilidade. Número do registro: MU0310053, data de depósito: 05/12/2012, título: "Reator com cartucho removível para processo de extração ou reação supercrítica em regime batelada ou contínuo" , Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

- **Processo de obtenção de inulina a partir de bulbos.** Santos, A.E; Novy Quadri, M.G.; Quadri, M.B.; Galante, R.M.; Vandresen, S.. PI 1002907-9 A2, Data de depósito: 11/08/2010, data de publicação 29/05/2012 (RPI 2160).

- **Programa de análise de cor a partir de fotos obtidas digitalmente,** 2005, QUADRI, M. B. Aplicativo desenvolvido no Programa Mathematica® (sem registro).

- **Programa para predição de volumes de óleo vazado a partir de seções de tubulações submersas em água.** QUADRI, M. B. Como parte do relatório do Relatório Final - Migração Advectiva em Dutos Submarinos - Fase II 0432/04 - MIGRAD, (TRANSPETRO) 2007.

- **Programa destinado ao projeto de captura de óleo por meio de balões submarinos** (2013). Desenvolvido no Programa Mathematica® como parte do relatório final: Estudo do Escoamento de Óleo durante o Enchimento Submarino de Balões (Cenpes/PETROBRÁS)

5.4. Prêmios e Títulos

2009 - Melhor Trabalho da Área Técnica Energia do VIII COBEQ-IC, FEQUI/UFU

2005 - 1st Place - Doctorate Division on 2005 SPE South American and Caribbean Student Presentation and Paper Contest, SPE International

2004 - XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - 2 lugar na Sessão Técnica 5 - Universidade Federal do Paraná - Setor de Tecnologia, Ministério da Educação

2003 - Melhores Trabalhos Apresentados no V COBEQ-IC, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

5.5. Bolsista de Produtividade do CNPq

Foi bolsista de produtividade do CNPq no período de 01/03/2008 a 01/02/2012 coordenando o projeto “Estudos de caracterização, detecção e modelagem de vazamentos a partir de dutos da indústria do petróleo”. Número do processo: 304860/2007-7

5.6. Participação em Bancas

Participação em banca de trabalhos de conclusão (mestrado): 30;

Participação em banca de trabalhos de conclusão (doutorado): 18;

Participação em banca de trabalhos de conclusão (exame de qualificação de doutorado): 19;

Participação em banca de trabalhos de conclusão (curso de aperfeiçoamento/especialização): 1;

Participação em banca de comissões julgadoras (concurso público): 3

5.7. Coordenação de Conferência

No XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (2014), participou na qualidade de Coordenador da Conferência: *Solar Hydrogen and Solar Detoxification: A Sustainable Approach to Renewable Energy Production and Environmental Protection*.

6. Atividades de Extensão

6.1. Coordenação de Laboratório

O prof. Marinho Bastos Quadri exerce as funções de Coordenador do Laboratório de Sistemas Porosos – LASIPO, do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos/UFSC desde janeiro de 1994 com seis (6) horas semanais de carga administrativa.

Descrição do Laboratório

O Laboratório de Sistemas Porosos se encontra sediado no departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (EQA/CTC/UFSC). Ocupa uma área de 100 m² no prédio de laboratórios de pesquisa. As atividades desenvolvidas no laboratório abrangem os segmentos de pesquisa e extensão, atendendo também à formação de recursos humanos nos níveis de mestrado e doutorado. Desenvolvem-se projetos nas áreas de Fenômenos de Transporte, Operações de Separação e Mistura e Modelagem e Simulação Fenomenológica. Os temas abordados buscam a geração de conhecimentos para o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias do setor produtivo industrial. Como exemplos de temas, citam-se: desenvolvimento de novos adsorventes; pesquisas em reologia e biopolímeros; desenvolvimento de embalagens interativas; produção e purificação de produtos de origem natural; estudos de sistemas água/óleo aplicados à

indústria do petróleo e situações de vazamento de óleo em alto mar; desenvolvimento de estratégias de caracterização e detecção de vazamento de dutos da indústria de petróleo e gás; estudo fenomenológico de processos térmicos da indústria têxtil e cerâmica visando à melhoria da eficiência energética; desenvolvimento de reatores contínuos de polimerização em suspensão, entre outros.

Abaixo algumas fotos (Figuras de 5 a 10) ilustram as dependências e meios disponíveis no LASIPO:



Fig.5 – Fachada do prédio onde se encontra o Lasipo



Fig.6 – Vista da sala de procedimentos analíticos



Fig.7 – Vista da sala de informática



Fig.8 – Equipamento de segurança, capela e bancada



Fig.9 – Equipamentos diversos

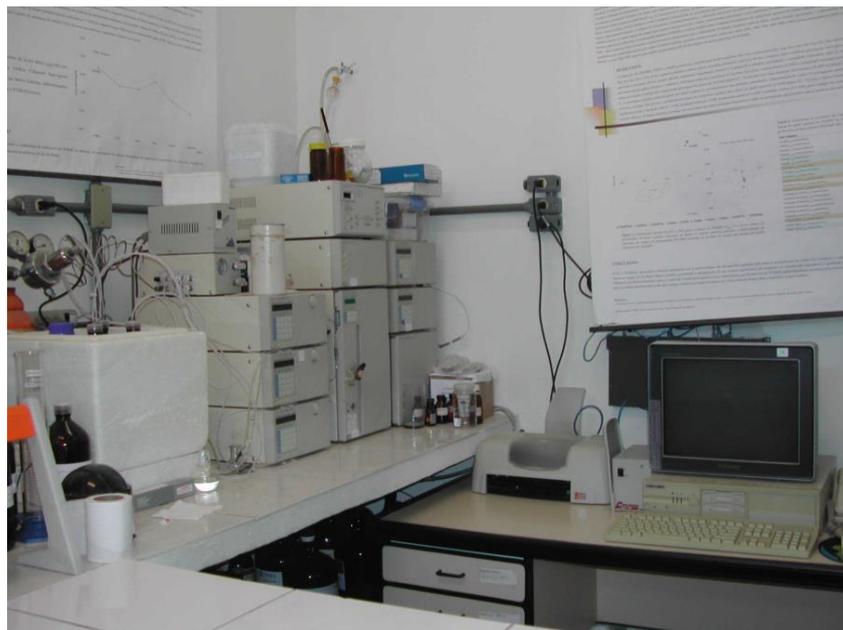


Fig.10 – Cromatógrafo (alojado no laboratório associado de Morfogênese e Bioquímica Vegetal)

Objetivo

Geração de conhecimento e desenvolvimento de tecnologias inovadoras com aplicação em diversos campos das indústrias extrativas e de transformação. Concomitantemente se busca de formação de pessoal de alta qualificação científica e tecnológica nos níveis de mestrado e doutorado.

Linhas de Pesquisa

- Desenvolvimento de novos adsorventes de origem natural e de baixo custo;
- Obtenção e purificação de biocomponentes a partir de produtos vegetais;
- Cristalização de compostos orgânicos;
- Materiais para embalagens interativas para alimentos;
- Aproveitamento de produtos agroindustriais para tratamento de águas residuárias;
- Caracterização e desenvolvimento de materiais a partir de biopolímeros;
- Avaliação e aprimoramento energético de secadores industriais (ênfase para as indústrias têxtil e cerâmica);
- Desenvolvimento da tecnologia de balões submarinos infláveis para a captura de vazamentos de óleo no fundo do mar;
- Fomento à Formação de recursos Humanos nas áreas de Automação, Controle e Instrumentação para a indústria do Petróleo e Gás, por meio do apoio ao PRH-34;
- Estudo da dispersão atmosférica de material particulado presente nas emissões de usinas de açúcar e álcool;
- Projeto e desenvolvimento de reatores contínuos de polimerização em suspensão;

- Caracterização e detecção de vazamentos para aplicação em dutos da indústria de petróleo e gás;
- Desenvolvimento de um destilador de filme líquido descendente destinado às operações offshore de refino de petróleo;
- Projeto e desenvolvimento de misturadores térmicos de correntes de gases visando à recuperação de energia em plantas industriais.

Em que setores os resultados se aplicam, que demandas atendem

As áreas de pesquisa desenvolvidas pelo LASIPO contemplam uma ampla gama de interesses e indústrias desde aquelas relacionadas ao agronegócio e produção de alimentos passando pelas indústrias de transformação (em especial Têxtil e Cerâmica) até aquelas com foco na exploração, produção e distribuição de energia como de Petróleo e Gás.

Exemplos de projetos

- Biopolímeros em processo verde de produção cerâmica. O projeto tem como objetivo substituir aditivos normalmente usados na indústria cerâmica por biopolímeros que possam conferir as características desejadas das peças cerâmicas. Financiador: CAPES
- Obtenção de nanopartículas de celulose. A agroindústria gera uma grande quantidade de poluentes, trazendo muitas vezes pesados danos ao meio ambiente. Este projeto visa propor alternativas para o aproveitamento dos resíduos deste setor produtivo. Financiador: CNPq
- Desenvolvimento de filmes e membranas biodegradáveis. Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de filmes, membranas densas ou eletrofiadas, a partir de biopolímeros, como carboidratos e proteínas, visando obter produtos para desenvolvimento de processos limpos. Financiador: CNPq
- Utilização de vegetais cultivados no Estado de Santa Catarina para tratamento de efluentes. Neste projeto tem-se especial interesse por uma cactácea, o *Cereus hildmannianus* K. Schum, e pelas folhas de mandioca, como matérias primas para obtenção de agentes coagulantes/floculantes e aplicação no tratamento de águas residuais. Financiador: CNPq
- Estudo do Escoamento de Óleo durante o Enchimento Submarino de Balões. O projeto engloba um estudo teórico/experimental que visa à produção de conhecimentos que venham a viabilizar a construção e a operação de um aparato destinado a coletar óleo/gás proveniente de poços ou oleodutos submarinos inclusive em situações de vazamento. Financiador: CENPES/Petrobrás
- Fomento à Formação de recursos Humanos nas áreas de Automação, Controle e Instrumentação para a indústria do Petróleo e Gás, por meio do apoio ao PRH-34. Complementar à formação dos alunos nos cursos de graduação, mestrado e doutorado,

em temas relacionados às áreas de Automação, Controle e Instrumentação para a indústria do Petróleo e Gás da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).
Financiador: ANP/Petrobrás

- Caracterização Vibroacústica de Vazamentos a Partir de Seções de Dutos Para Aplicação na Indústria de Petróleo e Gás. Objetivo: Desenvolver uma metodologia experimental buscando uma caracterização vibroacústica de vazamentos causados por rupturas estruturais em seções de dutos.

- Estudo da dispersão atmosférica de material particulado presente nas emissões de usinas de açúcar e álcool. Objetivo: modelar e simular o grau de impacto desse tipo de poluente no ambiente próximo às usinas de açúcar e álcool.

- Estudo do processo de secagem em secador rama de aquecimento direto usado na indústria têxtil – Projeto de extensão realizado para a SCGÁS (término em 10/04/2013)

Equipe

Professores

- Prof. Dr. Marinho Bastos Quadri (coordenador);
- Profa Dra. Mara Gabriela Novy Quadri (coordenador alternativo);
- Prof. Dr. Ariovaldo Bolzan (colaborador);
- Prof. Dr. Ricardo Antônio Francisco Machado (colaborador);
- Prof. Dr. Marcelo Maraschin (colaborador);

Além da participação de alunos de iniciação científica, de mestrado e de doutorado.

Credenciamento junto à ANP

O laboratório recebeu credenciamento junto à ANP sob o número 136/2014, publicado no No 106, quinta-feira, 5 de junho de 2014 no Diário Oficial da União – Seção 1 – ISSN 1677-7042. (Verificar no material em anexo)

6.2. Consultor Ad hoc

- Revisor de artigos científicos dos periódicos *Drying Technology* e *Brazilian Journal of Chemical Engineering*;
- Emissão de pareceres ad hoc para o CNPq como Pesquisador de Produtividade.

6.3. Membro de Órgão Colegiado

- O prof. Marinho Bastos Quadri é membro do colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PosENQ) desde outubro/1993 até o momento, dispondo para isso de duas (2) horas semanais de carga administrativa;
- Membro do Colegiado do Curso de Engenharia Química/UFSC pelo período de 02 (dois) anos a partir de 19/08/98;

- Membro por vários anos e sob diversas gestões da Comissão de Seleção de Candidatos ao ingresso no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química/UFSC (PosENQ).

6.4. Coordenador de Pesquisa do EQA/CTC/UFSC

O prof. Marinho Bastos Quadri exerceu as funções de Coordenador de Pesquisa do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos no período de 01/01/99 à 31/12/99, com uma carga horária de seis (6) horas semanais.

6.5. Projetos de Extensão

- **PROJETO EM DESTAQUE** - Coordenou o projeto: "**Elaboração de Soluções para a Redução do Consumo de Gás Natural em Ramas Têxteis**", financiado pela SCGÁS – Companhia de Gás de Santa Catarina, executado no período de 10 de dezembro de 2012 a 10 de abril de 2013. Informamos ainda, que o referido projeto, teve aprovação na UFSC através do formulário Notes, registrado no Protocolo nº 2012.5594. Neste caso, cabe mencionar que o Relatório Técnico Final foi entregue, ao Financiador pelo Coordenador do projeto (prof. Marinho Bastos Quadri). Cabe destacar que o projeto em questão gerou a publicação: Rossane Mailde Santos, John Wilmer Parra Llanos, **Marinho Bastos Quadri** & Ivan Carlos C. da Rocha. Study of Drying and Consumption of Natural Gas in a Textile Stenter of Direct Heating. *Drying Technology: An International Journal*. DOI:10.1080/07373937.2014.932286, 2014. O artigo na íntegra se encontra em **anexo**.

- Participou do projeto de extensão: "**Curso de Especialização em Processos Têxteis**" no período de 01/março/2007 a 30/abril/2009 com um total de 22,5 horas dedicadas.

7. Anexos

A. Documento de recomendação para a defesa de tese de doutoramento

Rapport de thèse

Sujet : "L'infiltrométrie multi-disques pour la caractérisation hydro-dispersive des sols non saturés: Modélisation des transferts et applications"

par Marinho BASTOS QUADRI

Le travail de thèse présenté par Marinho BASTOS QUADRI concerne la modélisation de l'écoulement de l'eau (et du mélange eau - soluté) sous un disque à succion contrôlée, en vue d'une meilleure compréhension et interprétation des mesures obtenues, in situ ou en laboratoire, à l'aide de l'infiltrométrie multi-disques. On se situe donc dans le cadre général de l'utilisation de la modélisation des transferts hydriques en conditions non saturées pour interpréter de façon rigoureuse les résultats issus d'une méthodologie, et pour définir des règles pratiques utilisables ultérieurement lors de la réalisation des mesures;

La thèse est structurée en quatre chapitres très riches, bien rédigés et illustrés, complétés par des annexes et une bibliographie de bonne qualité.

Dans le chapitre I, l'auteur rappelle les principales bases théoriques du problème qu'il se pose, présente les méthodes d'analyse des données obtenues avec l'infiltrométrie, et propose une présentation synthétique des différentes méthodes de mesures des propriétés hydrodynamiques du sol basées sur l'infiltrométrie.

Dans le chapitre II, l'auteur met au point un modèle numérique de simulation de l'infiltration à partir d'une source circulaire sous condition de saturation à la surface du sol. L'objectif est ici de vérifier les résultats analytiques obtenus par Wooding (1968) dans le cas d'un régime stationnaire (en fait, quasi stationnaire). Dans ce chapitre, l'auteur révèle clairement toute sa maîtrise dans le domaine de la modélisation et du calcul numérique et propose déjà quelques résultats essentiels. Par exemple, il souligne qu'aucun résultat numérique n'infirme les conclusions de Wooding dans le cas du régime asymptotique d'écoulement, il estime que le temps nécessaire pour obtenir un régime quasi stationnaire est de l'ordre de deux fois le temps gravitaire, il montre que la forme de l'évolution de la densité de flux sous la source est à peu près invariante quand le rayon de la source change, et que le cas monodirectionnel donne déjà des indications précises sur l'écoulement transitoire axisymétrique.

Dans le chapitre III, l'auteur présente un dispositif de mesure utilisé en laboratoire et permettant de suivre les écoulements couplés eau - soluté pour une géométrie axisymétrique et une succion imposée en surface. Par ailleurs, il présente une solution générale pour la modélisation des transferts hydriques en milieu non saturé (équation de Richards) qu'il couple ensuite à un modèle de transfert de solutés (sans séparer deux phases, mobile et immobile). Dans ce chapitre, l'auteur confirme sa rigueur de modélisateur (il règle soigneusement des problèmes d'instabilité numérique, vérifie la qualité du code numérique proposé avec des solutions analytiques, etc.), mais fournit aussi une bonne caractérisation physique des propriétés de son matériau. Tout cela lui permet in fine de proposer une validation tout à fait convaincante de son modèle couplé. D'ailleurs, on remarquera qu'en cas de légère divergence entre le modèle et l'expérience, la connaissance physique de l'auteur lui permet de trouver des éléments de réponse tout à fait raisonnables. A l'issue de ce chapitre, l'auteur dégage des conclusions essentielles: il met par exemple en évidence les problèmes pouvant être posés par l'hétérogénéité du milieu, et dégage bien toutes les potentialités de ce couplage eau soluté dans le cas de l'infiltrométrie.

Dans le chapitre IV, l'auteur valorise les outils numériques mis en place en les appliquant à quatre situations "expérimentales" tout à fait judicieuses: Il étudie ainsi le cas d'un sol très argileux, propose ensuite une véritable typologie des réponses de l'infiltrométrie multi disques pour différentes classes texturales de sols, étudie ensuite le cas d'un sol croûté en surface (cas

multicouches), et analyse enfin le rôle de la fine couche de sable placée à la surface du sol lors de la mesure. A l'issue de cette étude, ici encore, l'auteur dégage des conclusions tout à fait pertinentes: Dans le cas du matériau argileux, une étude expérimentale très solide lui permet de valider son modèle d'écoulement, de comparer les estimations de conductivité hydraulique obtenues selon deux méthodes (infiltrométrie et gammamétrie double source), de mettre en évidence le rôle du gonflement du matériau et de bien montrer la lente atteinte du régime asymptotique. Dans le cas de la typologie conduite sur cinq sols, l'auteur quantifie précisément les erreurs d'estimation des propriétés hydrodynamiques obtenus avec les hypothèses de Wooding. Enfin le cas des sols multicouches (croûte compactée ou couche de sable) est particulièrement intéressant. On montre ainsi qu'une estimation directe des propriétés hydrodynamiques du sol fondée sur l'observation des courbes d'évolution des flux est très risquée dans le cas du sol croûté, et que l'arrangement du sable de contact plus ou moins soigné sous le disque peut avoir des conséquences très importantes sur l'estimation finale des propriétés hydrodynamiques.

Au total, ce travail clair et bien rédigé est excellent. Il révèle en effet une très bonne maîtrise des bases physiques du transport de l'eau, de la modélisation en général (qu'il s'agisse de la maîtrise de solutions analytiques particulières, ou de la mise au point de codes numériques utilisant la méthode des différences finies). L'auteur fait preuve de beaucoup de rigueur et prend le maximum de précautions pour valider les schémas numériques qu'il utilise (comparaison avec des solutions analytiques lorsque cela est possible, analyse des bilans de masse et de la stabilité de ses solutions, analyse de la cohérence physique des résultats des simulations, etc.) et il s'appuie simultanément sur des jeux de données expérimentales nombreux et soigneusement traités. Enfin, l'utilisation des outils théoriques mis en place est particulièrement judicieuse puisque l'auteur étudie à l'aide de son simulateur une typologie réaliste de situations et de problèmes rencontrés couramment in situ. Les conclusions pratiques et théoriques dégagées au cours de son travail sont claires, pertinentes et novatrices et intéresseront aussi bien les théoriciens de l'infiltration que les praticiens de la mesure par infiltrométrie. Ce travail montre, une fois de plus, qu'on peut faire de la très bonne science en s'intéressant de près à la métrologie.

En conséquence, je pense que le mémoire présenté par Marinho BASTOS QUADRI peut être présenté en vue de l'obtention du titre de docteur de l'Université Joseph Fourier - Grenoble I.

Fait à Avignon le 11 Août 1993.

Laurent BRUCKLER Directeur de Recherches INRA



Commentaire du rapporteur sur la thèse "*L'infiltrométrie multi-disques pour la caractérisation hydro-dispersive des sols non saturés: Modélisation des transferts et applications*" présentée par Marinho BASTOS QUADRI pour obtenir le titre de **Docteur** de l'Université Joseph Fourier - Grenoble I.

Résumé

On trouve ici une thèse de premier choix dans laquelle on lit sur trois sujets intéressants, après qu'on a lu l'introduction du premier chapitre qui est bien complète et bien organisée.

D'abord, pendant le deuxième chapitre, on voit les résultats d'application critique d'un nouveau modèle numérique pour vérifier la solution de Wooding et l'obtention de ses limites de validité. Ici le modèle numérique considère le cas d'un sol avec les propriétés comparable de la formulation quasi-linéaire de Wooding. De sorte qu'on vienne d'apprendre encore la zone dedans laquelle la théorie de Weir est meilleure que celle de Wooding. Mais les nouvelles choses ici sont qu'on est informé que le temps d'atteindre le régime permanent est de l'ordre de deux fois le temps gravitaire; et que le flux transitoire en régime axisymétrique est approximativement le flux monodirectionnel, plus le terme constante capillaire de Wooding. Ces deux conclusions dernières sont méritoires

Ensuite, dans le troisième chapitre, est décrit l'application de ce modèle numérique aux expériences réalisées en utilisant un sol avec les propriétés mesurées au laboratoire, plutôt la forme quasi-linéaire présumée par Wooding et Weir. Les situations expérimentales simulées par le modèle ont inclu le transport axisymétrique d'eau d'un disque infiltromètre, aussi bien que le cas du transfert de produits chimiques inertes. Pendant la dernière expérience il y a eu le soluté (KBr) dans le réservoir d'alimentation. Grâce à l'accord entre les simulations et les points expérimentaux on conclut que le modèle numérique, qui avait développé et décrit dans cette thèse, est bien adaptée aux études générales de transfert d'eau et de soluté. Quant à moi, un bon résultat qui vient d'un développement numériquement rigoureux par M. Quadri.

En fin de compte, dans le chapitre final, on lit que ce modèle a été appliqué aux quatre problèmes théoriques ou expérimentaux.

- Premièrement, en ce qui concerne le cas du matériau de faible perméabilité, on est informé ici que les résultats expérimentaux et les simulations numérique démontrent la possibilité de l'obtention *in situ* des propriétés d'un argile au voisinage de la saturation, et la complémentarité de ceux avec les mesures qu'on peut obtenir à travers une plus grande gamme d'humidité dans le laboratoire. Une bonne conclusion.
- Ensuite, par les moyens des simulations paradigmatiques avec cinq sols supposés à partir du triangle de textures, on est donné quelques règles de "bonne conduite" d'infiltrométrie à disque en concernant les essais *in situ*. De nouveau, un autre bon résultat de règles d'utilité pour les essais au terrain.
- Troisièmement, on s'adresse aux problèmes de l'application du disque infiltromètre aux sols encroûtés, par l'emploi du code numérique au cas d'un sol bicouche. Là, il est constaté que la méthode d'infiltrométrie ne donne pas malheureusement la caracté

hydraulique de la croûte. Très bien, un résultat négatif, mais bien trouvé. Mais, l'auteur de cette thèse donc pense qu'il serait possible d'obtenir les propriétés de chaque couche par le moyen d'une expérience en deux coups. D'abord on ferait un essai à la vraie surface, et puis on fait un autre expérience sur une deuxième surface créée au-dessous la croûte. Donc on utiliserait le modèle en sens invers. Éventuellement, on verra ... mais néanmoins une bonne proposition, et une idée assez intéressante. On y va ...

- Finalement, le problème traité est l'influence de la fine couche de sable qui est utilisée pour assurer le contact hydraulique entre le disque et le sol. En particulier, par la modèle numérique, la perturbation en résultant du débordement du sable au-delà le disque est étudiée. Deux choses sont donc décrit dedans cette partie: les résultats de celui-là, et le changement prédit de la pression effective à l'interface de sol par rapport la pression imposée, à cause de l'épaisseur du sable. Ces deux conclusions me sont étonnantes. Très bien, bravo! Mais, d'ailleurs j'aimerais voir l'application de cet dispositif au problème du contact incomplet du sable entre le disque et tout le sol au-dessous. Souvent il semble que toute la superficie du disque ne soit pas en contact hydraulique avec le sol ou le sable sur lequel le disque est en traine de s'asseoir. Bien sûr, un problème intéressant pour l'avenir ...

Conclusion

Quant à moi, j'ai trouvé que cette thèse est bien organisée, et elle présente plusieurs idées originales. En plus, elle contient beaucoup de résultats et de conclusions de bonnes qualités. Donc je n'ai aucun hésitation de faire la recommandation que cette thèse doit-être soumis avant du jury pour l'examen. De plus, j'espère que le jury arrive à la même conclusion que j'ai réalisé. A mon avis, c'est une très bonne oeuvre, dont l'auteur et l'Université peuvent être fier.

En assistant le jury parvient à leur jugement, je voudrais faire maintenant une liste quelques critiques pour leur considération. Parce qu'il sera plus facile, et surtout plus exacte, pour moi à faire ces critiques dans ma langue maternelle, en conséquence j'écrirai désormais en anglais. Merci.

Les critiques

The axisymmetric flux

It is interesting to learn, beginning around page 61, that the simple equation $q_1(t) = q_{mono}(t) + 4K_1 \lambda_c \sqrt{\pi r_1}$ (Eq 2.64), can adequately predict the transient flow from a disc. It would however have been even more interesting if the author had gone further. The simple equation is still however hamstrung by the need to find $q_{mono}(t)$. This is no simple task. What would have been interesting to know is, how well does this scheme work if some of the other simple algebraic forms for q_{mono} are used? What would happen if q_{mono} were replaced with, for example Philip's $\frac{1}{2} S^{-1/2} + K$? Furthermore I would thought that here there would have been a good opportunity to test the various algebraic forms that Warrick (1992) (*Water Resources Research* 28:1319-1327).

Verification of solute flow

The author has been quite careful and rigorous in the testing of his numerical model, both for the flow of water as well as the transport of solute. However I wonder how critical the test against the theory of Cleary & Adrian really was? Certainly problems of numerical dispersion are not evident here, thankfully! But a little more circumspection might have been warranted. This test considered only 1-D transport through a soil being held at a constant water content. Unfortunately there are few analytical solutions that come anywhere near being able to mimic realistically the set-up that M. Quadri is trying to simulate. The 3-D analytical, but approximate, model of Gelhar & Collins might however have been worth a try, as well.

The "dip" of pure water

This next concern, might actually lead on from the point that I have just raised about validation of the numerical model for solute flow, as it applies to axisymmetric flow in a variably-wetted soil.

The solute data of Fig III-21 are, by and large, well simulated by the numerical model. In detail however there is one apparent mismatch. There is a deep "dip" caused by the initial infiltration of a pulse of pure water. This "dip" is sharply evident in all three transects. However the model appears incapable of creating a "dip" so deep. Is it due to an inappropriate model of solute dispersion being chosen? Is the chosen value of α wrong? Or worse, we could be left with the suspicion that there is here, in this 3-D unsaturated set-up, some numerical dispersion creeping in. Can this latter concern be refuted?

Clay soils

It is noted on page 134 that the expression of Weir is more appropriate to the case of this soil which, because of its fine-texture, has a very small value of α . Given this then, why were not the Weir results given in table IV-2, along with those of Wooding? I wonder how much of an improvement would have been realised in the last column which list the relative errors.

Secondly, what is the merit in knowing the value of K for a soil such as this? If the gravitational time scale t_{grav} is 26.8 years (!), what value in knowing a parameter whose impact on the flow regime is quite limited, unless of course we are interested in infiltration into this medium over a very-long time scale, viz. waste burial, etc. Are we? We're not really told. However, if we were interested in episodic wetting, then the property of prime importance will of course be that of the soil's capillarity. Hence in this case, we should direct our efforts to finding S , the sorptivity. So I would have liked to see how good the TRIMS system, vis-à-vis say $t^{1/2}$ behaviour, would have been at the determination of S . The numerical model could again have provided the underpinning.

Paradigms

This section was interesting, and via apposite use of the numerical model, some good practical conclusions were reached. I have only a few minor comments to make. I think there is (a rare) typographical error in Table IV-4. The exponent on the K_s of soil #5 appears wrong. As well, I would have preferred that Figures IV-17 were plotted against the square-root of time, as well as this short (linear) time presentation.

Furthermore, I would have preferred that the calculations beyond Table IV-8, had been carried beyond 30% t_{grav} , especially because of the large range of capillary/gravity behaviour encompassed by this wide range of soils. On pages 150-151, the intercomparison of the validity of the estimates taken at various values of t/t_{grav} is thus compromised. The comparison on page 151, number (a), compares the values at 230 seconds for soil 5, and 4.4 hours for soil 1. From a practical standpoint, the errors listed in the last column are then not of great importance. For in the case of the sand, one would let the experiment go a little longer and get a better estimate of K , whereas in the case of the clay, it would be better to obtain a valid value of S , and not so much of K . This could be obtained from the early-time $t^{1/2}$ behaviour.

Crusts & Contact

The results of this interesting analyses are presented in such a way that I had great difficulty following the "3-D" diagrams. The author has presented diagrams that have radial distance as the abscissa, and depth as a variable on the curves, whereas the ordinate is the parameter of interest. Spatially it was hard to visualise the curves. A proper 3-D diagram, as presented by Kachanoski *et al.* (1990) as his Fig 8 [SSSAJ 54:645-649], would have made for a more-enlightening presentation of these results. When the author writes up these results for publication he should consider an alternative mode of graphical representation.

As I have already alluded to above, I would have enjoyed further application of this contact model. Firstly I was intrigued about the effective potential at the interface consequent upon the depth of contact sand. I suppose in retrospect I shouldn't have been: for it is essentially "near-unit" gradient through the crust. But it is a salutary lesson, and when operating near-saturation in particular, one should be careful about the depth of the contact sand.

Secondly ... Often, when using permeameters in the field, I have been worried about whether the entire surface area of the disc's membrane is in complete hydraulic contact with the contact sand, and furthermore I have wondered about the integrity of the contact between the sand and the underlying soil. These concerns have worried me more than the case B (page 176) where the sand extends out beyond the disc's rim. A simple, quick wipe with a finger, or knife, can remove the excess of this sand.

However on the contrary, once the disc has been placed on the soil, little further can be done to improve the contact, for additional pressure will just force water out of the disc's membrane. So what impact does having some fraction of the disc's area not in good hydraulic contact with the underlying sand/soil layer? Does the spot-wise 3-D nature of the contact help iron out these pockets of poor contact? Philip (1983) in the ASAE proceedings of the American National Symposium on "*Advances in Infiltration*", discussed in approximate analytical terms the depth required for flow to be evened out when the surface was wetted "spottedly". Via his analytical scheme he could only explore in a rudimentary way, yet with great mathematical skill, the impact of fractional wetting of the soil's surface. Consideration of something akin to the various wetting patterns of his Fig 1 (reproduced here overpage), but on a different spatial scale, might have been enlightening from the perspective of poor disc contact.

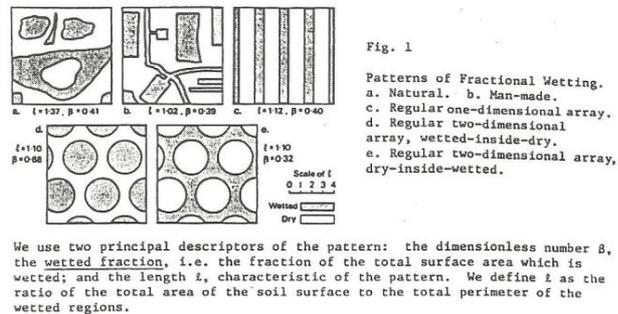


Figure 1. The fractionally-wetted patterns considered in Philip (1983) (Infiltration in one, two, and three dimensions ASAE 11-83 pp1-14)

But M. Quadri's numerical model would have been very useful in a more-complete analysis of this, here applied on the spatial scale of a disc permeameter. Does the author think there is a great sensitivity to the area of complete contact? What would be the likely impact of say a contact of 90%, where the air-gap is at the centre? What would it be if it were at the edge, such that the wetted/air-gap perimeter was not as great? How do wetted area and wetted perimeter conspire to affect the flow from the disc, and values of the derived properties? What say only 60% of the membrane were in good contact, but this were distributed into several air-gap pockets? These area/perimeter queries are so complicated, that only via a numerical model can their impact be assessed. A good opportunity for future work, I would hope ...

These critical comments I have added are simply minor concerns that might be raised at the "Soutenance". I have enjoyed reading, and reporting on this work.

B. Clothier

Brent Clothier
15th August 1993,
Palmerston North,
New Zealand

B. Publicação no Diário Oficial do União do Credenciamento do Laboratório de Sistemas Porosos – LASIPO junto à ANP.

Diário Oficial da União - Seção 1



Nº 106, quinta-feira, 5 de junho de 2014

ISSN 1677-7042

85

Credenciamento ANP Nº	136/2014		
Unidade de Pesquisa	LABORATÓRIO DE SISTEMAS POROSOS - LASIPO		
Instituição Credenciada	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC		
Área	Tema	Subtema	Linhas de Pesquisa
EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL - ONSHORE E OFFSHORE	PRODUÇÃO - HORIZONTE PRÉ-SAL, ÁGUAS PROFUNDAS, CAMPOS MADUROS E NOVAS FRONTEIRAS EXPLORATÓRIAS	DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTOS	Desenvolvimento de balões submarinos para a captura de óleo/gás em situações de acidente ou produção
GÁS NATURAL	UTILIZAÇÃO	APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, COMERCIAIS, RESIDENCIAIS E AUTOMOTIVAS	Estudo do processo de secagem em secador rama de aquecimento direto usado na indústria têxtil
TEMAS TRANSVERSAIS	SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE	MODELAGEM E PREVENÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS	Caracterização Vibroacústica de Vazamentos a Partir de Seções de Dutos para Aplicação na Indústria de Petróleo e Gás.

3.O Laboratório de Sistemas Porosos - LASIPO da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC está sujeito ao estabelecido no Regulamento Técnico ANP nº 07/2012, devendo demonstrar, a qualquer tempo, que continua atendendo aos requisitos técnicos e de qualificação jurídica estabelecidos no Anexo B e aos demais requisitos gerais exigidos para credenciamento, em especial, os seguintes:

I - fornecer as informações solicitadas nos prazos estabelecidos;

II - permitir aos técnicos avaliadores da ANP, sempre que solicitado, o livre acesso às instalações e à documentação pertinente ao credenciamento, assim como, à documentação pertinente às atividades de P&D realizadas com recursos das Cláusulas de Investimento em P&D;

III - compromisso com a aplicação dos recursos arrecadados para a manutenção e o desenvolvimento da infraestrutura e de pessoal relacionados com o objeto do credenciamento.

4.O credenciamento terá validade indeterminada, ficando o Laboratório de Sistemas Porosos - LASIPO da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC obrigado a confirmar ou atualizar as informações referentes a este credenciamento a cada 12 (doze) meses, a contar da data de publicação deste Despacho.

C. Artigo publicado na revista internacional *Drying Technology: An International Journal* como resultado do projeto de extensão "Elaboração de Soluções para a Redução do Consumo de Gás Natural em Ramas Têxteis", financiado pela SCGÁS – Companhia de Gás de Santa Catarina, executado no período de 10 de dezembro de 2012 a 10 de abril de 2013.

Study of Drying and Consumption of Natural Gas in a Textile Stenter of Direct Heating

Rossane Mailde Santos,¹ John Wilmer Parra Llanos,¹ Marinho Bastos Quadri,¹
and Ivan Carlos C. da Rocha²

¹*Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil*

²*Companhia de Gás de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil*

Heat and mass transfer in a porous media model was applied to simulate the drying of cotton fabric in a stenter using the finite element method. The influence of ambient conditions on the performance of the stenter was investigated. The model also predicted how much natural gas could be saved when the exhaust heat was recovered. Moisture and temperature profiles were calculated and it was observed that the model represented the real process adequately. Simulation results showed that natural gas consumption increased by 5.3% when the simulation represented the operation of the stenter in cold air and that recovery of exhaust air saved 19–64% of natural gas.

Keywords Mathematical modeling; Simulation; Stenter; Textile drying

INTRODUCTION

The textile industry is one of the most important economic sectors in the world. Many capital and consumer goods are made in the textile sector, such as technical materials, garments, and household items. The stenter is a type of dryer widely used in the finishing process of the fabric, giving its final properties by heat setting, curing, drying, and ensuring the dimensional stability of the product.^[1,2]

In the stenter (Fig. 1), the fabric is transversely tensioned at the selvages by clips or pins and passes through drying chambers at velocities ranging between 0.17 and 1.7 m/s. Hot air is injected directly onto the upper and lower surfaces of the fabric by a series of nozzles strategically positioned to remove the moisture by the principle of forced convection. The humid air, formed due to the drying process, is removed and carried by the drying air toward the exhaust system, which prevents the formation of excess moisture near the fabric. Consequently, the concentration

gradient is higher and hence the evaporation rate is increased.^[1,3]

The stenter consists of 5 to 10 drying chambers with individual temperature control. Each chamber has hot air nozzles which distribute the air on the top and bottom of the fabric, typically at speeds of 10 to 100 m/s and temperatures ranging from 100 to 350°C.^[4] In direct heating stenters, natural gas is burned in the chamber and the temperature of the drying medium is regulated by injecting air at ambient temperature.

The stenter requires high energy consumption for air heating and subsequent removal of moisture from the fabric as vapor.^[5] Natural gas is the fuel used to heat the air in the chambers of the stenter. The heat in the gas flame is taken up by the air from the blower fans and passed onto the fabric surfaces. More efficient use of energy resources for equipment, such as the stenter, directly implies a reduction in production costs in the textile sector.^[6] In Brazil, 15% of energy demand for the drying process could be saved by recovering heat from exhaust air.^[7] More than 50% of the total heat of the drying air which flows into the dryer is discharged with the exhaust air into the atmosphere.^[8]

Based on the understanding of the drying process, measures that lead to higher production rates and lower operating costs can be taken. Mathematical modeling provides an opportunity to evaluate dryer performance, to improve process control, and to use combustibles more efficiently. The exhaust air should be used in heat recovery systems to preheat the drying air in order to reduce natural gas consumption in the stenter. Heat recovery systems are profitable, although time and capital investments are required for the installation and maintenance of heat exchangers.^[9] The introduction of a system for preheating the fabric by direct contact or equipment to mechanically remove water can save 13 to 50% of the energy used by the stenter.^[10]

Phenomenological modeling of the drying process in a stenter is a challenging study, probably because of the difficulty in determining the various parameters involved in heat and mass transfer equations and their boundary

Correspondence: Rossane Mailde Santos, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 88040-900 Brazil; E-mail: santos.rossane@gmail.com

Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at www.tandfonline.com/ldrt.

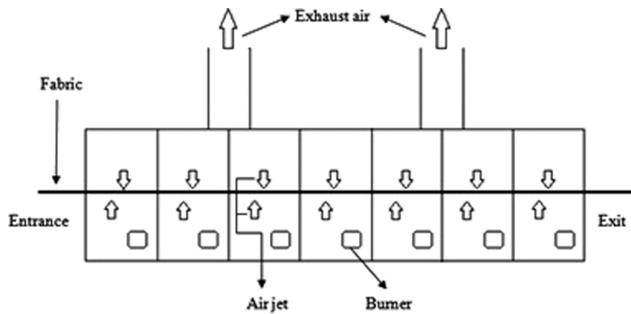


FIG. 1. Schematic of a direct gas heating stenter.

conditions. In general, optimization of a stenter is established by experimental studies, by mass and energy balances for the equipment, or by observation of the real process. Mujumdar^[4] showed the basic concepts of textile drying, as well as the different drying systems used in the textile industry. A brief review of the design parameters and heat transfer correlations was done for impingement dryers. The effects of cross flow, movement of the product inside the dryer, large temperature differences, high drying rate, and artificial turbulence are the most important to be considered in the design of impingement dryers. Sousa et al.^[11] analyzed the moisture distribution of a crude cotton textile dried by hot air flow in the drying chamber for different values of initial moisture content of the sample, drying air, temperature, and velocity.

Ceron^[12] studied the drying of a non-woven material in a stenter to reduce the consumption of natural gas. Two thermal profiles were tested in an industrial process: an economic profile (lower temperature of the drying air and lower velocity of the non-woven material) and an advanced profile (higher temperature of the drying air and the non-woven material moving faster in the dryer). It was concluded that the consumption of natural gas was reduced by 19.4% in the economic profile, while the advanced profile increased the fuel consumption by 31.1%. The influence of the relative humidity of the ambient air was also investigated. When the relative humidity of the ambient air was higher, more time was needed to heat the drying air and, therefore, more fuel was used. Since the specific heat of water vapor is greater than that of dry air, more energy was necessary to heat the air with higher humidity. From real process observation, fuel consumption increased by 5.0% when the stenter was operated in ambient air with higher humidity.^[12]

Haghi^[2] reviewed the mathematical relationships in convective and microwave drying of carpets. In dryer design, the removal of excess water from the fabric surface should be optimized. In this aspect, Xue^[13] developed a mathematical model to simulate the drying of carpet tiles. The model incorporated physical features observed experimentally and observed in the industrial process. Quantitative

measurement of excess air and energy consumption was done, which provided information to develop protocols for improving drying operation. In the initial zones of the industrial dryer, excess air should be used, so the exhaust vents should be opened for these zones. On the other hand, less water is evaporated in the last zones of the dryer, so the exhaust vents should be set at a small opening.

Borges et al.^[14] proposed a model for designing heat exchangers with the recovery of exhaust air, based on heat and mass balances in an indirect heating stenter. In fact, the problems of the indirect heating system are the thermal losses related to the generation and transportation of the hot fluid. Ferraz et al.^[3] compared the energy efficiency between direct and indirect heating stenters. Heat and mass balances were assessed for both types of stenters. The research concluded that direct heating stenters are more efficient than indirect heating stenters, and that 34.8% of the thermal energy produced in this equipment could be recovered.

In this context, the application of a mathematical model which can contribute knowledge of the dryer is a very useful strategy. This study aimed to evaluate the energy performance of the drying process of a cotton fabric in a direct heating stenter with phenomenological modeling and computer simulation, also estimating the consumption of natural gas in the equipment. The effect of the ambient air conditions (temperature and humidity) on stenter performance was investigated. Furthermore, an estimation of the reduction of natural gas consumption was done, considering the reuse of exhaust air to preheat the fabric and the drying air.

METHODS

The phenomenological modeling and simulation of drying in a stenter were performed in COMSOL *Multiphysics* version 4.3a. COMSOL *Multiphysics* is a finite-element software that integrates its own mesher. In this software, it is relatively simple to build an unstructured or structured mesh, even in complex geometries. The multiphysics capability of COMSOL offers an easy way to add equations to represent more phenomena or even to make parameters depend upon the solution. It also has a very good post-processing feature to generate graphics and show the results. Recently, the scientific community has been using this software as an excellent alternative to solve problems involving heat and mass transfer in porous media.^[15–20]

Four simulations were developed to obtain the results. Simulation 1 was performed to estimate the mass and the heat transfer coefficients. Simulations 2 and 3 were performed to determine the effect of different ambient air conditions on the dryer performance. The conditions tested in this study were the hottest and coldest seasons of the year. In Simulation 4, the exhaust air was recycled for preheating the drying air as well as the fabric entering the dryer. In this case, five different recycle ratios were tested to evaluate the energy demand of the stenter. The results were compared to

Simulation 1, which characterized the operation of the stenter without reuse of the exhaust air.

In all simulations, parameters were adjusted so the moisture of the fabric at the end of the process was 7.0% d.b., the typical residual moisture recommended for this type of textile material. For Simulation 1, the heat and mass transfer coefficients were systematically approximated. The following operating parameters of the industrial process were obtained in the literature: fabric velocity, humidity of the drying air, initial temperature of the fabric, initial humidity of fabric, and the temperature of the drying air.^[3,14] Eight simulation runs were done in order for the fabric to be dried to the required level in Simulation 1.

In Simulations 2, 3, and 4, a similar procedure was done, but the adjusted parameter was the temperature of the drying air. The known operating parameters were fabric velocity, humidity in the drying air, initial temperature of the fabric, initial humidity of fabric, and the heat and mass transfer coefficients (from Simulation 1). For Simulation 2, three runs were necessary, while in Simulation 3 and Simulation 4 four and seven runs were done, respectively. The average time required for each simulation run was 480s. The simulation time sums the time required not only to solve the equations, but also for the pre-processing and post-processing steps, although the time to calculate the solution was usually longer.

Definition of Geometry and Mesh Construction

The domain considered for the simulation of cotton fabric drying in the stenter was 30m long, 2.0m wide, and

1.5 mm thick (Fig. 2). The upper and lower faces of the domain were divided into regions called R1 and R2. This distinction is due to the fact that the air flows perpendicularly to the fabric, producing a significant increase in the convective coefficients near the stagnation point (center point on the plane of incidence of the jet). The existence of maximum convective coefficients at the stagnation point which decrease with increasing radial distance has been experimentally/numerically determined by various authors.^[21-27] The region of influence of the perpendicular flow has a radius greater than the radius of the injector, depending on the height of the nozzle relative to the fabric. Based on the results presented in the literature,^[21-27] and considering a nozzle with a diameter of 2.54cm, the area of the fabric affected by the perpendicular incidence of the drying air was considered in this model according to a circular region (for each nozzle) with a radius equal to 0.05 m (region R2). Region R1 corresponds to the area less influenced by the perpendicular flow of air. Due to the practical difficulties in measuring these local coefficients at all stagnation points of the operating stenter, it is common to determine average coefficients for the surface.

The domain was discretized as an unstructured mesh composed of 326742 triangular prismatic elements (Fig. 3). Given the very small thickness of the domain, only one layer of elements was created in the z direction. First-order Lagrange polynomials were used as the approximation function.

Drying is a multiphysics problem that can be solved using a segregated approach. This attribute makes it possible to split the solution process into substeps. In this process, the

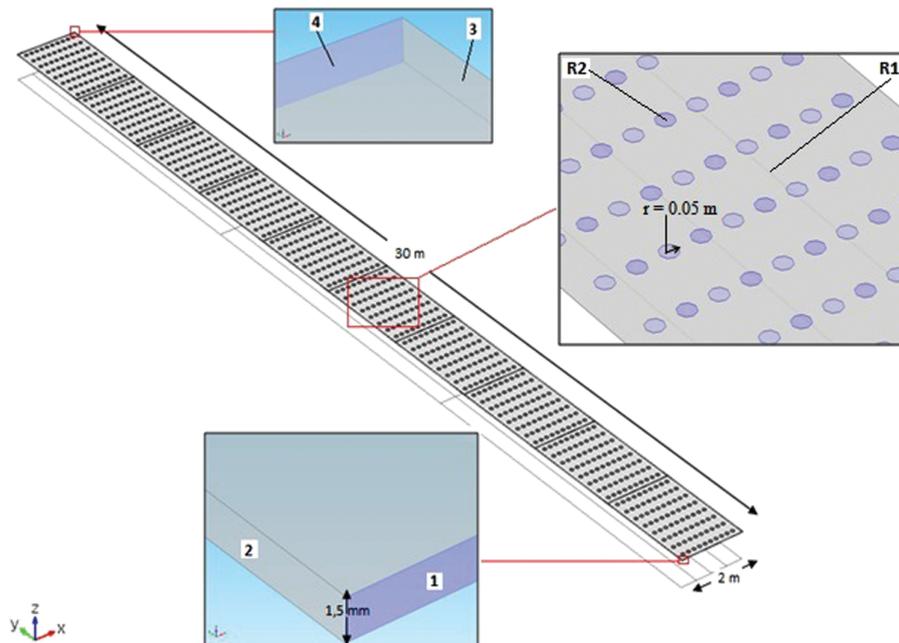


FIG. 2. Computational domain and boundaries.

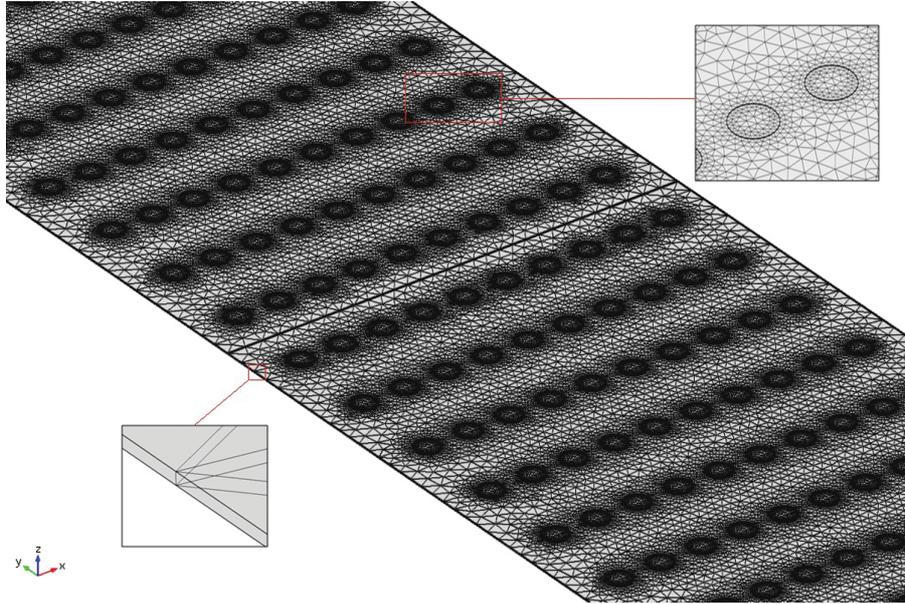


FIG. 3. Detailed view of meshed domain.

mass transfer model is solved first and its results are used in the heat transfer model until the solution converges, based on the estimated error.^[28] The segregated solver terminates if, for all the groups of equations, the error estimate ξ is smaller than the corresponding tolerance ($tol=0.001$).

The system of equations generated by the finite element method was solved by the Multifrontal Massively Parallel Sparse Direct Solver (MUMPS) for the mass transfer model. This package solves linear systems of the type $Ax = b$, where A is a square sparse matrix, using a method based on a multifrontal direct approach.^[29] For the heat transfer model, the system of equations was solved by the package PARDISO, developed by Schenk and Gartner.^[30] While the solution of the mass transfer equation gives the moisture profile in the fabric, the solution of the heat transfer equation gives its temperature profile. These equations are related to each other and their solutions are interconnected. The quantity of water in the porous media affects its physical properties, such as thermal conductivity, density, and heat capacity, which are used in the heat transfer equation. At the same time, the isotherm represents the relationship between water content in the fabric and air humidity at given temperatures. Figure 4 shows a flowchart of the basic steps to obtain the numerical solution of the drying model.

Assumptions

The basic assumptions of the model adopted for drying the textile material were: (1) the effect of shrinkage due to drying of the fabric was not considered; and (2) it was assumed that there is an inert fluid support in the porous

medium as a way to adapt the species transport in porous media model. In the mass transfer equations, water was considered a chemical species being transported by a fluid phase in a porous medium. The assumption of the existence of the fluid support relies on the necessity of a fluid phase to transport the water in the porous medium. The physical properties of the fluid support vary linearly with moisture content: in a completely dried porous medium, the properties of the fluid support correspond to the dry air; in a saturated porous medium, the properties of the fluid support are those of the water. Additionally, (3) there was no fluid support movement relative to the fibers of the porous medium, so that the dispersion in the mass equation was zero; (4) there was no consumption or generation of moisture in porous media; (5) the drying air in contact with the fabric was constantly renewed, so the humidity and air temperature did not change due to heat and mass exchange with the fabric; (6) due to the negligible thickness of the tissue, diffusive resistance in the perpendicular direction to the plane of the fabric was not considered; (7) the fluid support saturated the porous medium; and (8) the dryer was assumed to be adiabatic.

Mass Transfer in Porous Media

The general equation for the transport of moisture in porous media is presented as^[31]:

$$\frac{\partial(\theta c_{w,sf})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_p \phi_{fw})}{\partial t} + \frac{\partial(a_v c_{w,G})}{\partial t} + \nabla \cdot (c_{w,sf} \mathbf{u}) = \nabla \cdot [(D_D + D_{ef}) \nabla c_{w,sf}] + R_w + S_w \quad (1)$$

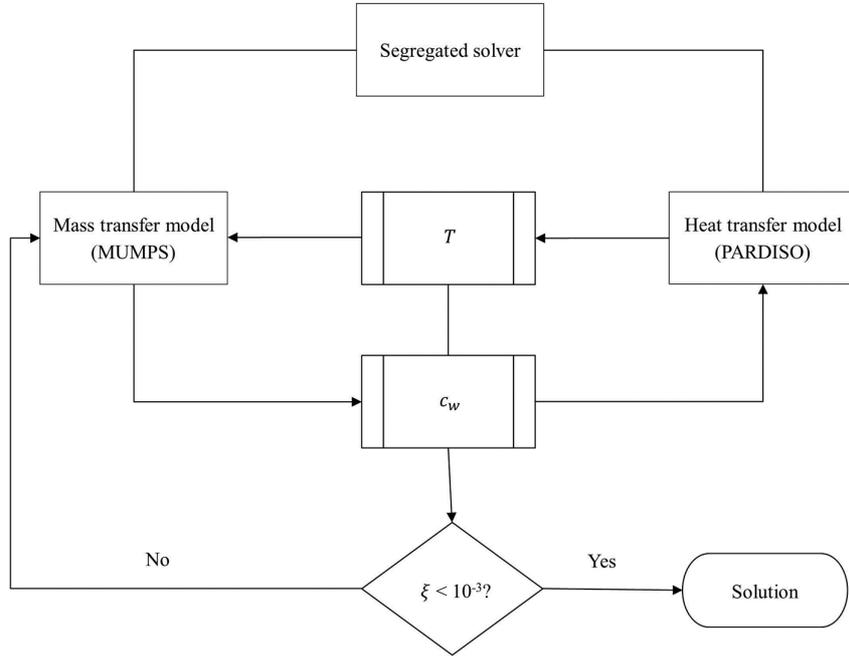


FIG. 4. Flowchart of the basic steps to obtain the numerical solution of the drying model.

In Eq. (1), the first three terms refer to the accumulation
 285 of mass of the chemical species in the liquid, solid, and
 gaseous phases. $c_{w,sf}$ is the concentration of water in the
 fluid support, φ_{fw} is the amount of adsorbed water in the
 fibers of the fabric, and $c_{w,G}$ is the water concentration in
 290 the gaseous phase due to evaporation. θ , ρ_p , and a_v are,
 respectively, the liquid volume fraction in the porous
 medium, the density of the fabric, and the gas volume frac-
 tion in the porous medium, where:

$$\rho_p = (1 - \varepsilon)\rho_f \quad (2)$$

$$a_v = \varepsilon - \theta \quad (3)$$

295 In Eqs. (2) and (3), ε corresponds to the porosity of the
 fabric and ρ is the density of the fibers which compose it.
 Assumption (7) implies that the gas volume fraction in
 the porous medium is equal to zero and thus, $\varepsilon = \theta$. The
 300 desorption of water was considered in the boundary
 condition that relates the concentration of water in the
 fabric to the bulk concentration.

In Eq. (1), $\nabla \cdot (c_{w,sf} \mathbf{u})$ is the term due to the convective
 flow of the liquid phase at a velocity \mathbf{u} . The first term on
 305 the right side of Eq. (1) represents the dispersion of the sol-
 ute due to mechanical mixing over the diffusion of species.
 According to assumption (3), the dispersion tensor, denoted
 as D_D , was considered negligible. D_{ef} is the effective diffu-
 sivity of moisture in the fluid support.

310 The last two terms on the right side of Eq. (1) describe
 the generation or consumption of moisture due to chemical

reactions or the presence of external sources. According to
 the assumptions for modeling the drying of cotton fabric in
 a stenter, R_w and S_w are null.

Thus, the model equation of moisture transfer in the
 315 fabric during drying in the stenter is:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\theta c_{w,sf})}{\partial t} + \frac{\partial(c_{w,sf} u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{w,sf} u_y)}{\partial y} \\ = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 c_{w,sf}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c_{w,sf}}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

The fabric is initially subjected to a humidity (X_0) 70%
 d.b. (initial condition 4a) and passes through the dryer at
 320 a speed of 0.4 m/s. This means that the fabric enters and
 exits the dryer continuously, so that this situation is repre-
 sented in the model as constant humidity at the entry
 position of the stenter (4b boundary condition at wall 1
 shown in Fig. 2) and displacement of the domain with velo-
 325 city equal to 0.4 m/s in the positive y-axis ($u_y = 0.4$ m/s).
 At the side edges of the fabric (walls 2 and 3 in Fig. 2), there is
 no inflow or outflow of moisture (boundary conditions 4c
 and 4d). In the output position in the stenter (wall 4 in
 Fig. 2), it is assumed that convection is the dominant effect;
 330 i.e., the mass flow due to diffusion is zero (boundary
 condition 4e). The flux of evaporated water in the fabric
 is in the boundary conditions 4f and 4g.

$$c_{w,sf} = c_{w,0}, \text{ for } t = 0 \ e \begin{cases} 0 \leq x \leq 2 \\ 0 \leq y \leq 30 \end{cases} \quad (4a)$$

$$c_{w,sf} = c_{w,0}, \text{ for } t > 0 \text{ e } \begin{cases} 0 \leq x \leq 2 \\ y = 0 \end{cases} \quad (4b)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{N}_w = 0, \text{ for } t > 0 \text{ e } \begin{cases} x = 0 \\ 0 \leq y \leq 30 \end{cases} \quad (4c)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{N}_w = 0, \text{ for } t > 0 \text{ e } \begin{cases} x = 2 \\ 0 \leq y \leq 30 \end{cases} \quad (4d)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{\Gamma}_w = 0, \text{ for } t > 0 \text{ e } \begin{cases} 0 \leq x \leq 2 \\ y = 30 \end{cases} \quad (4e)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{N}_w = k_1(c_{w,da} - c_{w,int}), \text{ for region R1 and } t > 0 \quad (4f)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \mathbf{N}_w = k_2(c_{w,da} - c_{w,int}), \text{ for region R2 and } t > 0 \quad (4g)$$

where:

$$c_{w,0} = X_0 \rho_p / M_w \quad (5)$$

$$\mathbf{\Gamma}_w = -D_{ef} \left[\frac{\partial(c_{w,sf} u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{w,sf} u_y)}{\partial y} \right] \quad (6)$$

$$\mathbf{N}_w = c_{w,sf} \mathbf{u} - D_{ef} \left[\frac{\partial(c_{w,sf} u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{w,sf} u_y)}{\partial y} \right] \quad (7)$$

n is the normal to the boundary wall pointing out of the domain. $c_{w,da}$ is the concentration of water in the drying air, and $c_{w,0}$ is the initial concentration of water in the fabric. $c_{w,int}$ is the water concentration in the gas phase near the surface of the fabric, calculated by the Henderson-Thompson isotherm model shown in Eq. (8).^[32] Although this model was originally developed for corn drying, Santos et al.^[33] fitted the experimental results of drying a polyester/cotton fabric to the Henderson-Thompson isotherm. In the problem presented here, where a cotton fabric is dried in a stenter, the data provided by the literature^[34] for drying cotton fabric at temperatures between 35°C and 150°C were used to adjust the model and values outside this range were extrapolated when necessary.

$$X_e = \left[\frac{\ln(1 - RH)}{-(aT + b)} \right]^c \quad (8)$$

$$c_{w,int} = P_{sat} \frac{RH}{RT} \quad (9)$$

In Eq. (8), a , b , and c are constants for setting the isotherm model and RH is the relative humidity of the air. In Eq. (9), R is the ideal gas constant equivalent to 8.314 m³ Pa/(mol K) and P_{sat} is the saturated vapor pressure of the air, measured in Pascals by Tetens' empirical equation,^[35]

with the temperature T in K:

$$P_{sat} = 610.8 \exp \left[\frac{(17.3 T - 4725.5)}{(T - 35.85)} \right] \quad (10)$$

370

Heat Transfer in Porous Media

The heat transport equation applied to a porous medium is written as^[31]:

$$(\rho C_P)_{eq} \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_{sf} C_{p,sf} \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\kappa_{eq} \nabla T) + \Omega \quad (11)$$

In Eq. (11), ρ_{sf} is the density of the fluid support and $C_{p,sf}$ is the heat capacity of the fluid at constant pressure. The term $(\rho C_P)_{eq}$ is the equivalent heat capacity and κ_{eq} is the equivalent thermal conductivity. These properties are related to the properties of the fluid support and the porous medium, according to Eqs. (12) and (13):

$$\kappa_{eq} = (1 - \theta) \kappa_f + \theta \kappa_{sf} \quad (12)$$

$$(\rho C_P)_{eq} = (1 - \theta) \rho_f C_{p,f} + \theta \rho_{sf} C_{p,sf} \quad (13)$$

where κ_f , ρ_f , and $C_{p,f}$ are the thermal conductivity, density, and heat capacity of the fibers in the porous medium, respectively. These properties were calculated for the fluid support by Eqs. (14), (15), and (16):

$$\kappa_{sf} = \kappa_w - (\kappa_w - \kappa_{air}) \frac{(c_{w,0} - c_{w,sf})}{c_{w,0}} \quad (14)$$

$$C_{p,sf} = C_{p,w} - (C_{p,w} - C_{p,air}) \frac{(c_{w,0} - c_{w,sf})}{c_{w,0}} \quad (15)$$

$$\rho_{sf} = \rho_w - (\rho_w - \rho_{air}) \frac{(c_{w,0} - c_{w,sf})}{c_{w,0}} \quad (16)$$

The generation or consumption of heat is represented in the model as the term Ω , which is null for the proposed model. Then, the heat transfer equation during fabric drying in the stenter is:

$$\begin{aligned} (\rho C_P)_{eq} \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_{sf} C_{p,sf} \left(u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) \\ = \kappa_{eq} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

Initially, the fabric is subjected to the ambient temperature T_{amb} (17a). The temperature at the entry position of the fabric (wall 1) of the dryer is also T_{amb} (17b). The lateral edges of the fabric (walls 2 and 3) are isolated, and therefore the heat flow is zero (17c and 17d). The mechanism of heat

395

400

transfer in the output position of the stenter is convection; i.e., the temperature gradient in the normal direction to wall 4 is zero (17e). The fabric is heated by convection due to the air flow that is accounted for by the boundary condition (17f and 17g), considering the different convective coefficients for regions R1 and R2. The heat consumed by the evaporative process of water is considered in terms of the surface area of the fabric, taking into account the different regions R1 and R2 (17h and 17i).

$$T = T_{amb}, \text{ for } t = 0 \text{ and } \begin{cases} 0 \leq x \leq 2 \\ 0 \leq y \leq 30 \end{cases} \quad (17a)$$

$$T = T_{amb}, \text{ for } t > 0 \text{ and } \begin{cases} 0 \leq x \leq 2 \\ y = 0 \end{cases} \quad (17b)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \left[-\kappa_{eq} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] = 0, \text{ for } t > 0 \text{ and } \begin{cases} x = 0 \\ 0 \leq y \leq 30 \end{cases} \quad (17c)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \left[-\kappa_{eq} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] = 0, \text{ for } t > 0 \text{ and } \begin{cases} x = 2 \\ 0 \leq y \leq 30 \end{cases} \quad (17d)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \left[-\kappa_{eq} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] = 0, \text{ for } t > 0 \text{ and } \begin{cases} 0 \leq x \leq 2 \\ y = 30 \end{cases} \quad (17e)$$

$$\begin{aligned} &-\mathbf{n} \cdot \left[-\kappa_{eq} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] \\ &= h_1(T_{da} - T), \text{ for region R1 and } t > 0 \end{aligned} \quad (17f)$$

$$\begin{aligned} &-\mathbf{n} \cdot \left[-\kappa_{eq} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] \\ &= h_2(T_{da} - T), \text{ for region R2 and } t > 0 \end{aligned} \quad (17g)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \left[-\kappa_{eq} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] = \Phi_{R1}, \text{ for region R1 and } t > 0 \quad (17h)$$

$$-\mathbf{n} \cdot \left[-\kappa_{eq} \left(\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right] = \Phi_{R2}, \text{ for region R2 and } t > 0 \quad (17i)$$

where:

$$\Phi_{R1} = M_w Q_{st} k_1 (c_{w,da} - c_{w,int}) \quad (18)$$

$$\Phi_{R2} = M_w Q_{st} k_2 (c_{w,da} - c_{w,int}) \quad (19)$$

and \mathbf{n} is the normal to the boundary pointing out of the domain. Q_{st} represents the integral isosteric heat, a parameter

which estimates the minimum heat required to remove an amount of water adsorbed on the solid phase:

$$Q_{st} = q_{st} + \Delta H_{vap} \quad (20)$$

In Eq. (20), ΔH_{vap} is the heat of vaporization of pure water, which is a function of temperature and is given by Eq. (21), where $\alpha = -4.35 \text{ J}/(\text{kg K}^2)$, $\beta = 452.05 \text{ J}/(\text{kg K})$ and $\gamma = 2694780.97 \text{ J}/\text{kg}$.^[36]

$$\Delta H_{vap} = \alpha T^2 + \beta T + \gamma \quad (21)$$

A widely used method to calculate the net isosteric heat q_{st} is based on the Clausius-Clapeyron equation, Eq. (22), as described in the literature.^[37-39]

$$\frac{\partial \ln(a_w)}{\partial T} = \frac{q_{st}}{RT^2} \quad (22)$$

Equation (22) is integrated assuming that the isosteric heat is independent of temperature:

$$\ln(a_w) = -\left(\frac{q_{st}}{R}\right) \frac{1}{T} + C_{st} \quad (23)$$

Through Eq. (23), there was a linear regression of the logarithm of water activity with the reciprocal of temperature corresponding to different equilibrium moisture contents. Next, the Sopade-Ajisehiri exponential model^[40] was tested. This model, shown in Eq. (24), predicts the behavior of the isosteric heat as a function of the equilibrium moisture content, with coefficients A and B .

$$q_{st} = A \exp(-BX_c) \quad (24)$$

Equations Used to Estimate the Consumption of Natural Gas by the Stenter

To evaluate the energy performance of the stenter, it is necessary to quantify the energy flow rates associated with heating of the humid fabric and the removal of moisture in vapor form, as well as determine the amount of drying air and the energy contained in it. By adding the integral area of Eqs. (4f), and (4g), it is possible to obtain the amount of water removed as vapor in the drying process:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{vap} = M_w \left[\left(\iint_{A_1} k_1 (c_{w,da} - c_{w,int}) dx dy \right) \right. \\ \left. + \iint_{A_2} k_2 (c_{w,da} - c_{w,int}) dx dy \right] \end{aligned} \quad (25)$$

From the knowledge of the amount of water removed in the process, the amount of drying air required (\dot{m}_{da}) can then be calculated by mass balance, shown in Eq. (26).

$$\dot{m}_{da} = \frac{\dot{m}_{vap}}{(AH_{ex} - AH_{da})} \quad (26)$$

470 AH_{ex} is the absolute humidity of the exhaust air and
 475 AH_{da} is the absolute humidity of the drying air. The value
 of AH_{ex} was calculated using psychrometric equations and
 considering that the exhaust air exits the process in thermal
 equilibrium with the fabric. This situation would corre-
 spond to the maximum efficiency of heat exchange between
 the drying air and fabric. With the mass flow rate of drying
 air, the energy flow rate was calculated by Eq. (27).

$$\dot{Q}_{da} = \dot{m}_{da} C_{P,air} (T_{da} - T_{amb}) \quad (27)$$

480 Considering that the total heat of the drying air is equal
 to the energy given by the burning of natural gas, the molar
 flow rate of gas required to heat the drying air is calculated
 by Eq. (28):

$$\dot{n} = \frac{\dot{Q}_{da}}{(-\Delta H_c)} \quad (28)$$

485 where ΔH_c is the enthalpy of combustion of natural gas,
 calculated by Eq. (29), based on natural gas with molar
 composition of 90% methane, 8.0% ethane and 2.0% pro-
 pane; $\Delta H_{c,i}^\circ$ is the heat of combustion of each component
 (Table 1).

$$\Delta H_c = \sum_{i=1}^3 x_i \Delta H_{c,i}^\circ \quad (29)$$

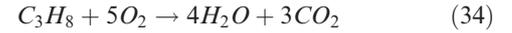
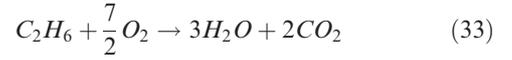
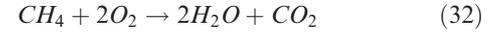
The molar flow rate of natural gas was converted to
 volumetric flow rate by Eq. (30). In this equation, v is the
 molar volume of the natural gas, calculated by Eq. (31),
 where v_i is the molar volume of the components, shown
 in Table 1, at 0.1 MPa and 300 K.^[41]

$$\dot{V} = \dot{n}v \quad (30)$$

$$v = \sum_{i=1}^3 x_i v_i \quad (31)$$

500 The combustion of natural gas in the burner inside the
 stenter forms water, which is added to the drying medium
 and therefore increases its humidity. The amount of water
 is estimated from the molar flow rate of natural gas needed

to dry the fabric. The combustion reactions of each
 component of natural gas are shown in Eqs. (32), (33),
 and (34).



The evaluation of energy flow rate of the exhaust air can
 be made from the calculation of the amount of energy used
 to heat the fabric and evaporate the water contained in it
 (\dot{Q}_p). The calculation of \dot{Q}_p is analogous to the amount
 of evaporated water, which is made up of the sum of sur-
 face integrals of Eqs. (17f) and (17g).

$$\dot{Q}_p = \iint_{A_1} h_1(T_{da} - T) dx dy + \iint_{A_2} h_2(T_{da} - T) dx dy \quad (35)$$

and thus the wasted heat is:

$$\dot{Q}_{wt} = \dot{Q}_{da} - \dot{Q}_p \quad (36)$$

or, in percentage terms:

$$\% \dot{Q}_{wt} = \left(\frac{\dot{Q}_{wt}}{\dot{Q}_{da}} \right) \times 100 \quad (37)$$

Psychrometric Equations

The calculation of the air properties used in the drying
 process was performed using psychrometric equations.^[42]

The saturation pressure of water vapor (P_{sat}) is used to
 determine certain properties of humid air. It is calculated as
 a function of the dry bulb temperature in K, by Eq. (38):

$$\begin{aligned} \ln P_{sat} = & -5800.2206/T_{air} + 1.3914993 - 4.8640239 \\ & \times 10^{-2} T_{air} + 4.1764768 \times 10^{-5} T_{air}^2 - 1.4452093 \\ & \times 10^{-8} T_{air}^3 + 6.5459673 \ln T_{air} \end{aligned} \quad (38)$$

Absolute humidity in kg of H₂O/kg of dry air was deter-
 mined by the saturation pressure and relative humidity:

$$AH_{air} = \frac{0.622 \times \left(\frac{RH}{100}\right) \times P_{sat}}{\left[P_{atm} - \left(\frac{RH}{100}\right) \times P_{sat}\right]} \quad (39)$$

In Eq. (38), T_{air} is the temperature of the air, whose value
 equals the temperature of the drying air (T_{da}) or of
 the exhaust air (T_{ex}), depending on which air is used to cal-
 culate the psychrometric properties. Similarly, in Eq. (39),
 AH_{air} is the absolute humidity of the air, with a value

TABLE 1
 Enthalpy of combustion and molar volume for each
 component in natural gas

i	Component	x_i	$\Delta H_{c,i}^\circ$ (kJ/mol)	v_i (m ³ /mol)
1	Methane	0.90	-802.33	-0.024901
2	Ethane	0.08	-1427.85	0.24760
3	Propane	0.02	-2044.01	0.024554

540 equivalent to that of the drying air (AH_{da}) or of the exhaust
air (AH_{ex}).

545 The wet bulb temperature (T_{wb}) was calculated by suc-
cessive approximations using Eq. (40). In this equation,
 T_{air} and T_{wb} are in °C. AH_{sat} is the absolute humidity of
saturated air, calculated by Eq. (41).

$$AH_{air} = \frac{[(2501 - 2.381T_{wb})AH_{sat} - 1.006(T_{air} - T_{wb})]}{(2501 + 1.805T_{air} - 4.186T_{wb})} \quad (40)$$

$$AH_{sat} = \frac{0.622 \times P_{sat}}{(P_{atm} - P_{sat})} \quad (41)$$

550 The flowchart of Fig. 5 shows the procedure for calcu-
lating the psychrometric properties of the drying air and
exhaust air used to estimate the energy consumption of
the dryer.

Material Properties

555 A fabric made of 100% cotton was considered, with
porosity (ϵ) equal to 0.89 and basis weight (Gr) equal to
250 g/m²; these are average values among the types of tex-
tiles processed in this dryer. The physical properties of the
fiber were found in the literature^[2,4]: thermal conductivity
($\kappa_f = 0.029$ W/(m K)), density ($\rho_f = 1667$ kg/m³), and heat
560 capacity ($C_{p,f} = 1339.78$ J/(kg K)). The effective diffusivity
(D_{ef}) was 8.6×10^{-6} m²/s, a value on the same order of

magnitude presented by Gibson and Charmchi (7.6×10^{-6}
m²/s).^[43]

565 The considered properties of the ambient air and drying
air are shown in Table 2. Due to the high concentration
of textile industries in the Vale do Itajai, state of Santa
Catarina, Brazil, and the applicability of this study to this
industry, annual average local climate data were considered
for this study: average maximum temperature of 27°C,
570 average minimum temperature of 15°C, and relative
humidity of 85%.^[44] The conditions of the drying air were
obtained by psychrometric equations and considering the
water formed in the combustion of natural gas with a molar
composition equal to 90% of methane, 8% of ethane, and
575 2% of propane. It was considered that the ambient air was in
thermal equilibrium with the fabric at the input of the
stenter and the exhaust air was in equilibrium with the
fabric at the exit of the machine.

580 The absolute humidity and temperature of the
pre-heated air in Simulation 4 were obtained by mass and
energy balances. In this case, the fabric and the drying air
were preheated by the exhaust air. The preheated air con-
sists of a mixture of ambient air ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, $RH = 85\%$)
and exhaust air (a known parameter from Simulation 1).
585 Equation (42) shows the definition of the recycle ratio.
The recycle ratios considered in Simulation 4 were 1:5,
1:2, 1:1, 3:2, and 2:1.

$$r = \frac{\dot{m}_{ex}}{\dot{m}_{amb}} \quad (42)$$

590 where the sum of the mass flow rates of the exhaust air and
ambient air corresponds to the mass flow rate of the mixed
air, as shown in Eq. (43). The mass flow rate of the drying
air was previously calculated in Simulation 1 and using
Eq. (26).

$$\dot{m}_{ex} + \dot{m}_{amb} = \dot{m}_m \quad (43)$$

595 The absolute humidity and temperature of the mixed air
were calculated by Eqs. (44) and (45):

$$AH_m = \frac{(AH_{amb}\dot{m}_{amb} + AH_{ex}\dot{m}_{ex})}{\dot{m}_m} \quad (44)$$

$$T_m = \frac{(rT_{ex} + T_{amb})}{(1 + r)} \quad (45)$$

600

Desorption Isotherm Equation and Convective Coefficients Used in the Drying Model

605 The desorption isotherm correlates the adjusted moisture
content in the fabric to the amount of water at the air/fabric
interface. Thus, it directly influences the differences in
concentration potentials which promote the outflow of
water from the product to the air during drying. Figure 6

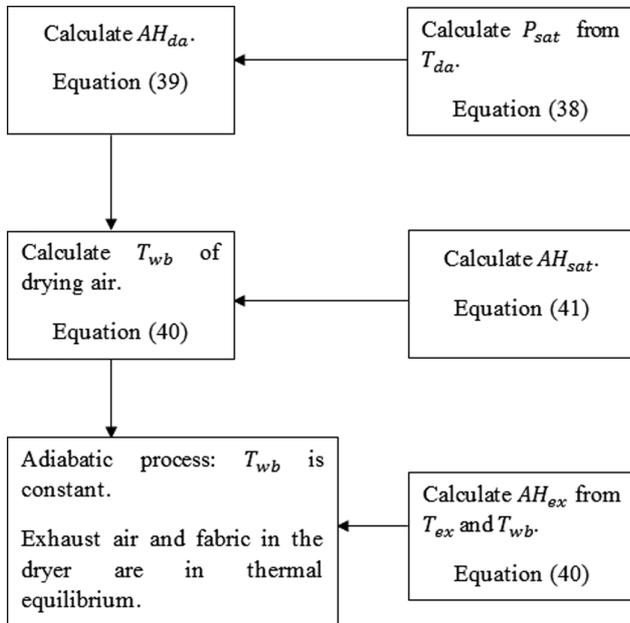


FIG. 5. Flowchart of the procedure used to calculate psychrometric properties of the drying air and exhaust air.

TABLE 2
Ambient and drying air properties for Simulations 1, 2, and 3

Simulation	Ambient air		Drying air	
	Temperature (°C)	Absolute humidity (g H ₂ O/kg dry air)	Temperature (°C)	Absolute humidity (g H ₂ O/kg dry air)
1	25	16.87	180.0	23.95
2	27	19.20	179.5	26.28
3	15	9.02	183.0	16.58

shows the fit of the Henderson-Thompson model^[32] to the experimental data^[34] with a coefficient of determination R^2 equal to 0.9946. In the simulations, the fitted isotherm model, Eq. (46), was extrapolated to temperatures (in porous media) below 35.56°C, which occur early in the process when the material is still warming up. The isotherms also indicate the minimum humidity threshold that can be achieved with a given drying air, thus becoming essential information for a well-balanced design in the use of energy.

$$X_e = \left[\ln \frac{(1 - RH)}{-(0.2912 T + 8.4254)} \right]^{0.7707} \quad (46)$$

The Henderson-Thompson isotherm model^[32] was used to determine the isosteric heat. Water activity was calculated for a temperature range between 30°C and 180°C and equilibrium moisture content between 0.04 and 0.22. Linear regression analysis performed with these results is shown in Fig. 7.

The net isosteric heat was calculated by the slope of each line, for the corresponding equilibrium moisture content (Table 3). The decrease in the isosteric heat to increasing relative humidity indicated that the smaller the amount of water in the fabric, the more energy is needed to evaporate the adsorbed water in the product. Johann et al.^[45] obtained similar conclusions in their experimental study of drying textile materials. This behavior occurs because there are highly polar active sites on the surface of a porous material with a low moisture content. The integral isosteric heat values are greater than the actual heat of vaporization of pure water, indicating that the bond energy between water molecules and sites is greater than the bond energy of water molecules.^[46]

The Sopade-Ajisehiri model^[40] fitted the results showed in Table 3 well, with a coefficient of determination equal to 0.9982. The range of results estimated by the model is in good agreement with the values obtained in the literature for textiles. The isosteric heat of the adsorption of polyester used by Zhu and Li in their simulation of heat and mass

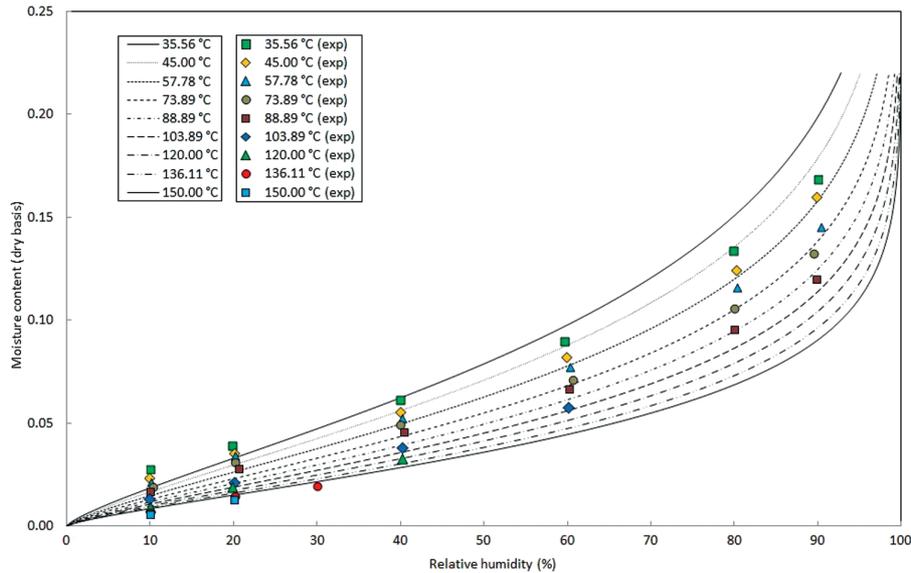


FIG. 6. Desorption isotherm of cotton fabric at different temperatures.

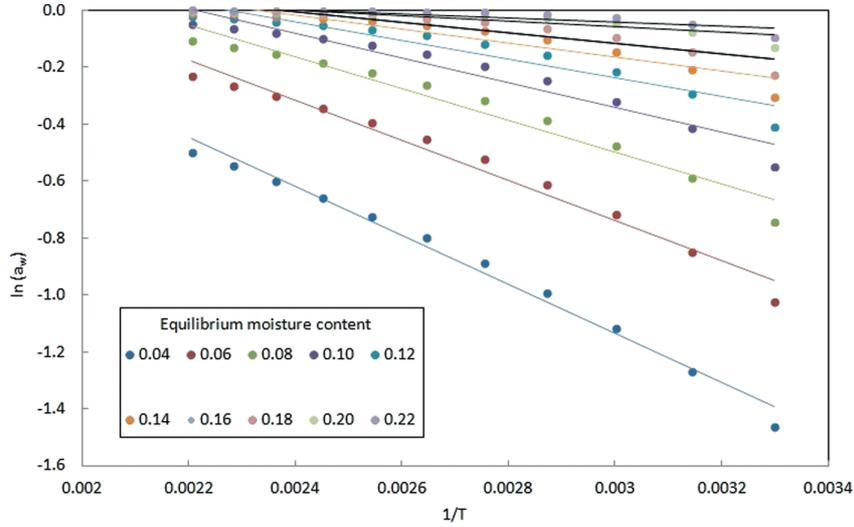


FIG. 7. $\ln(a_w)$ as function of $1/T$ at different moisture content for cotton fabric.

transfer in textiles was 2522.0 kJ/kg.^[47] Johann et al.^[45] obtained heats of desorption of 3104 kJ/kg for denim and 3417 for cotton/elastane. The fitted model is shown in Eq. (47) and the adjusted isosteric heat model at 90°C (the average value among the temperatures of the desorption isotherm) is shown in Fig. 8.

$$Q_{st} = 704.62 \exp(-13.17 X_e) + 2284.95 \quad (47)$$

The heat and mass transfer coefficients were estimated in Simulation 1 so that the fabric was dried to a 7.0% moisture content on a dry basis. For region R1, the heat transfer coefficient estimated was $h_1 = 71.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ and the mass transfer coefficient was $k_1 = 0.001 \text{ m}/\text{s}$. For region R2, the heat transfer coefficient was $h_2 = 142.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ and the mass transfer coefficient was $k_2 = 0.002 \text{ m}/\text{s}$. Based on the results obtained by Sharif and Banerjee,^[48] who numerically

investigated the heat transfer coefficients on a moving plate with a perpendicular flow of air, it was assumed that the coefficients in the convective region R2 were twice that in region R1.

The literature still lacks experimental values for the heat and mass transfer coefficients in a system such as a stenter. However, some effort has been directed to determining values of the Nusselt number; i.e., the dimensionless constant used to calculate the heat transfer coefficient. Gao^[49] experimentally determined the convective heat transfer coefficients in a nozzle plate 25 configured in different ways, finding values ranging from 120 to 600 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, depending on the geometry and the Reynolds number. Francis and Wepfer^[50] numerically obtained by a one-dimensional model and the theory of Kolmogoroff heat transfer coefficients between 30 and 120 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ and mass transfer coefficients between 0.023 and 0.074 m/s in a system

X_e	q_{st} (kJ/kg)
0.04	397.35
0.06	324.53
0.08	257.67
0.10	199.82
0.12	151.96
0.14	113.76
0.16	84.12
0.18	84.12
0.20	44.76
0.22	32.33

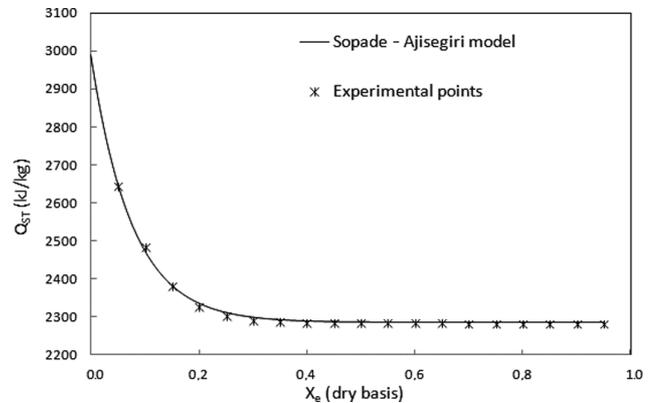


FIG. 8. Isosteric heat for cotton fabric at 90°C.

consisting of a semi-porous solid drying at an average temperature of 150°C.

680 The high estimated values for the transfer coefficients in this work are consistent with the drying method in the stenter, which directs hot air onto the fabric. The impact of air jets at high temperature on the fabric reduces the resistance associated with the transport of heat and moisture, in addition to causing turbulence in the medium. For this reason, the stenter leads to higher rates of heat and mass transfer and is very suitable for convective drying when speed is a desired feature in the process.

RESULTS AND DISCUSSION

690 Humidity and Temperature Profiles of the Fabric

The moisture profile on the surface of the fabric for Simulation 2 can be observed in Fig. 9a. Initially, the fabric enters the stenter with a moisture content of 70% d.b., which is equivalent to 6474.9 mol H₂O/m³ of dry fabric. 695 After receiving heat from the drying air, which heated the solid phase and evaporated the water in the porous media, the fabric exited the process with moisture on a dry basis of about 7.0% d.b.

The temperature profile on the fabric surface for Simulation 2 is shown in Fig. 9b. As transfer coefficients are high, the increase in temperature occurs in the first chambers of the dryer. Xue^[13] also noted the fast increase in the temperature of the fabric a few meters from the entrance of the dryer; the temperature of the textile stabilized in the last chambers, which characterizes the constant rate period.

As Fig. 9 indicates, higher temperature and lower humidity tracks were formed on the surface along the length of the fabric. This occurs because of the movement of the fabric inside the stenter combined with the presence of nozzles that impinges the drying air on its surface at high velocities, reducing the resistance to heat and mass transfer in region R2. In industrial equipment, it is desirable that these nozzles are designed to reduce this effect, so that the mass and heat transfer are uniform on the fabric surface, 710 thus avoiding the formation of marks on the product.

The moisture and temperature profiles along the length of the fabric in Simulations 2, 3, and 4 ($R=0.5$) are shown in Fig. 10. In all simulations, including the simulations with different recycle ratios, the temperature stabilized at the end of the process to around 130°C in the last four chambers of the stenter (18–30 m away from the entrance). Typical temperatures of the fabric exiting the dryer in an actual process are on the order of 100°C. In the simulations, heat loss to the environment through the walls of the dryer (the adiabatic dryer hypothesis) was not considered, so it implies that all the heat supplied by the drying air is available to heat the fabric and remove water until the end of the process. Thus, it was concluded that the output temperature estimated by the simulations are higher than the actual process, where heat losses to the external environment are present. 720 725 730

The influence of ambient air conditions in the drying kinetics is shown in Fig. 11. It can be seen that the drying rate was highest when the temperature of the drying air was increased. This result was expected since the potential for heat transfer was increased and thus the mass transfer. Moreover, in practice, a temperature increase of the drying air is not always feasible, since the reactions involved in the heat setting process may be affected by temperature changes, resulting in a product of undesirable quality. In this situation, a possible alternative would be to adjust the drying air temperature along the length of the stenter so that the temperature of the fabric surface would not exceed the temperature where damage is encountered. Heating a cotton fabric above 150°C increases the extent of browning and hardening of the fibers.^[51] 735 740 745

In Fig. 11, it is still possible to observe that the drying process occurred during the material heating period followed by an approximately constant rate period. Initially, the fabric was colder than the drying medium. The heated air caused a temperature rise in the product, with an increase in the drying rate. This phenomenon continued until the heat and mass transfer approximately compensated, and then the constant rate period started. The process was finished when the moisture of the fabric was 7.0% d.b. 750 755

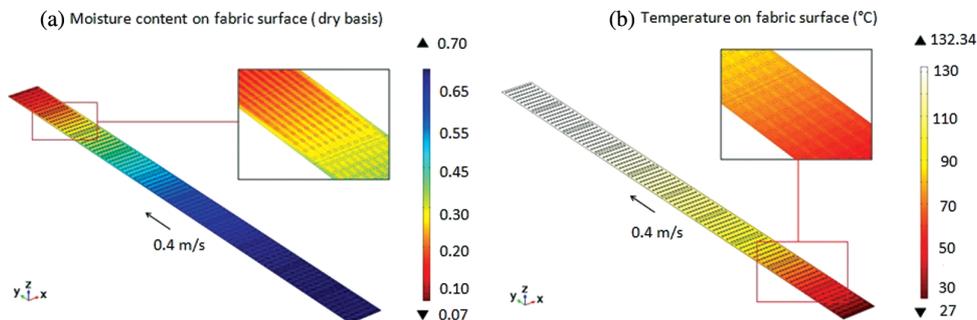


FIG. 9. (a) Moisture content and (b) temperature on fabric surface for Simulation 2, showing tracks formed due to the fabric movement in the stenter.

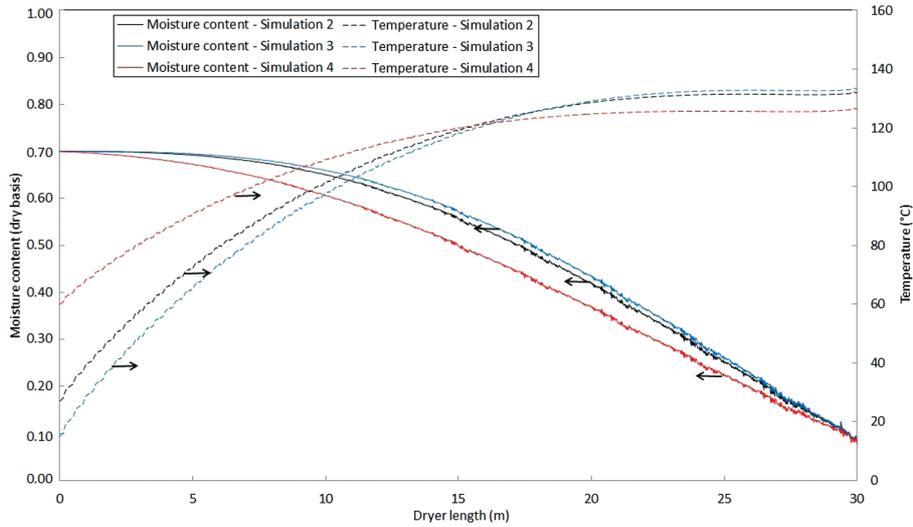


FIG. 10. Moisture content and temperature profiles for Simulations 2, 3, and 4 (for recycle ratio 1:2) at $x = 1.0\text{ m}$, $0 \leq y \leq 30\text{ m}$.

The falling rate period is usually determined by an increase in the internal resistance of the material.^[52] Due to the small thickness of the domain (0.0015 m), a lumped formulation was adopted for the moisture transport in the direction perpendicular to the plane of the fabric (assumption 6). In this situation, the desorption isotherm (that defines the equilibrium of water on the interface fabric/air) establishes the potential difference which promotes the convective flux of water vapor. Although the falling rate period was not observed, the simulated results were in reasonably good agreement with the real process.^[3]

Natural Gas Consumption and Performance of the Stenter

Once the fabric is initially in thermal equilibrium with the ambient air, the drying medium should be warmer in colder seasons to ensure drying of the material to the appropriate level for the process. Similarly, in the warmer seasons, drying air can be heated less to ensure a moisture content at the required level. It is important to calculate the variations in the energy demand of the stenter during the warm and cold seasons.

Figure 12 shows in the psychrometric chart the heating lines of ambient air in the hottest and coldest seasons of

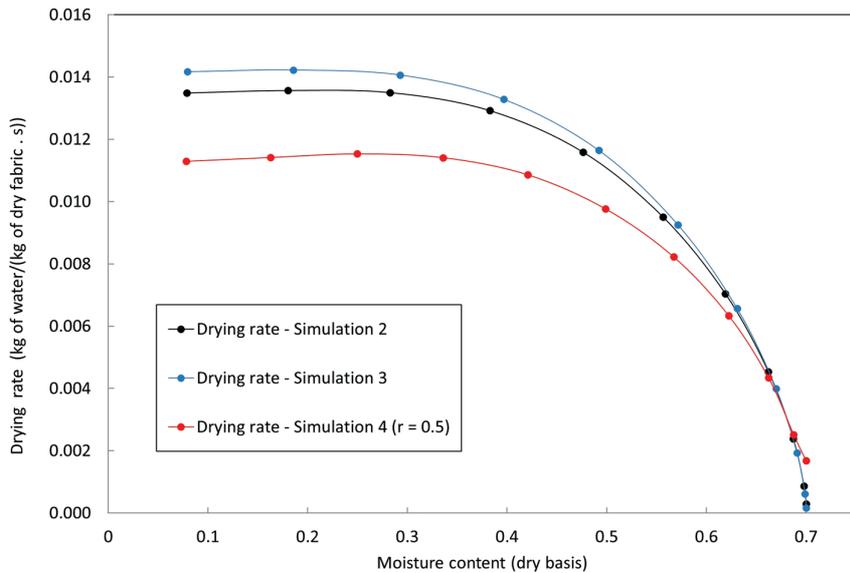


FIG. 11. Drying kinetics for Simulations 2, 3, and 4 (for recycle ratio 1:2).

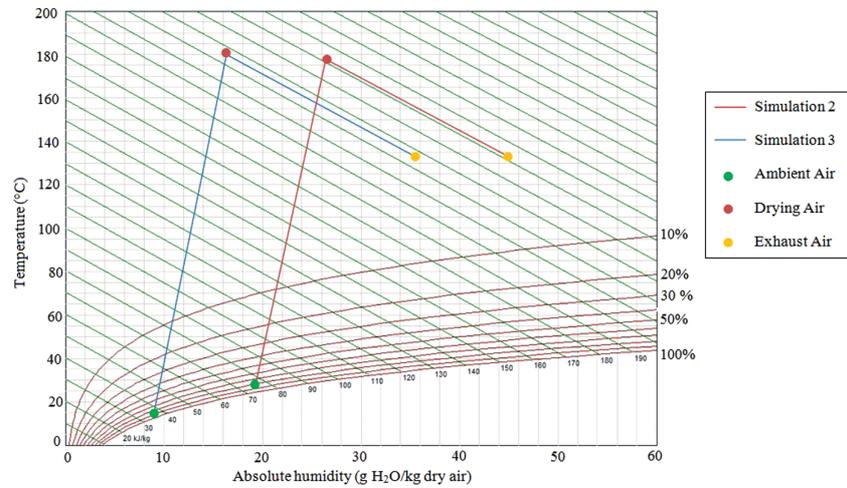


FIG. 12. Psychrometric chart showing air condition during drying process for Simulations 2 and 3.

the year, until the temperature of the drying air was reached. It also shows adiabatic cooling during the process, with the fabric and the exhaust air in thermal equilibrium. This means that all the stenter performance calculations were done in the best possible scenario, which is the maximum efficiency of heat exchange between the drying air and the fabric. The difference between the outlet temperature of the fabric in the simulations and in an actual process could be used to estimate the heat loss through the walls of the equipment.

The effects of the condition of the air in the drying of a fabric in a stenter are shown in Table 4. In the coldest average temperature, represented by Simulation 3, it was possible to estimate a 5.2% increase in fuel consumption compared to the process simulated by Simulation 1 (ambient air conditions: relative humidity 85% and temperature 25°C). Based on observations of the drying process of insole in a stenter, Ceron^[12] verified the influence of ambient air conditions (in this case, relative humidity) in the process and concluded that it takes longer time to heat and keep the drying air at a constant temperature during the winter, estimating an increase of fuel consumption on the order of 5%, a result in agreement with this paper.

For Simulation 4, the mass flow rate and absolute humidity of the ambient air, mixed air and exhaust air

for each recycle rate are shown in Table 5. These parameters were calculated by the mass balance equations. The parcel of exhaust air that is not recycled can be used to supply other thermal needs of the industry.

The psychrometric chart (Fig. 13) shows the air conditions in the process without the reuse of exhaust air (Simulation 1) and the process where exhaust air was reused with different recycle ratios (Simulation 4). Figure 13 also indicates the temperature and humidity of the mixture resulting from the exhaust air with fresh air to perform the drying operation.

The results of the energy balance of the process with the recycle ratios are shown in Table 6. They were compared to the results of the case without exhaust heat recovery (Simulation 1). As expected, the consumption of natural gas decreased as the recycle ratio increased. A heat recovery system to preheat drying air and the fabric is able to reduce fuel consumption from 19 to 64% compared to the process without recycling of exhaust air. This occurs because the fabric enters the process preheated, so the energy demand to heat and dry the fabric is lower. In addition, the temperature of the drying air was adjusted to lower values than the process without recycling. Consequently, the heat lost by the exhaust air was lower compared to the values of other cases and the dryer efficiency increased.

TABLE 4

Results of Simulations 1, 2, and 3 showing the effects of the condition of the air in the drying of a fabric in a stenter

Simulation	T_{da} (°C)	\dot{m}_{da} (kg/s)	\dot{V} (m ³ /s)	\dot{Q}_{da} (kJ/s)	\dot{Q}_p (kJ/s)	% \dot{Q}_{wt}	Q_{pr} (kJ/kg)
1	180.0	6.16	0.0284	1002.68	681.49	32.03%	5926.00
2	179.5	6.28	0.0284	995.96	672.62	32.47%	5798.45
3	183.0	6.06	0.0299	1057.28	728.52	31.09%	6334.96

TABLE 5
Mass balance results of the process for each recycle ratio (Simulation 4)

r	Ambient air		Mixed air		Exhaust air	
	\dot{m}_{amb} (kg/s)	AH_{ex} (g H ₂ O/kg dry air)	\dot{m}_m (kg/s)	AH_m (g H ₂ O/kg dry air)	\dot{m}_{ax} (kg/s)	AH_{ex} (g H ₂ O/kg dry air)
1:5	5.13	16.87	6.16	21.17	1.03	27.07
1:2	4.15	16.87	6.16	25.38	2.01	30.22
1:1	3.08	16.87	6.16	29.77	3.08	33.44
3:2	2.46	16.87	6.16	32.35	3.70	35.32
2:1	2.05	16.87	6.16	34.07	4.11	36.66

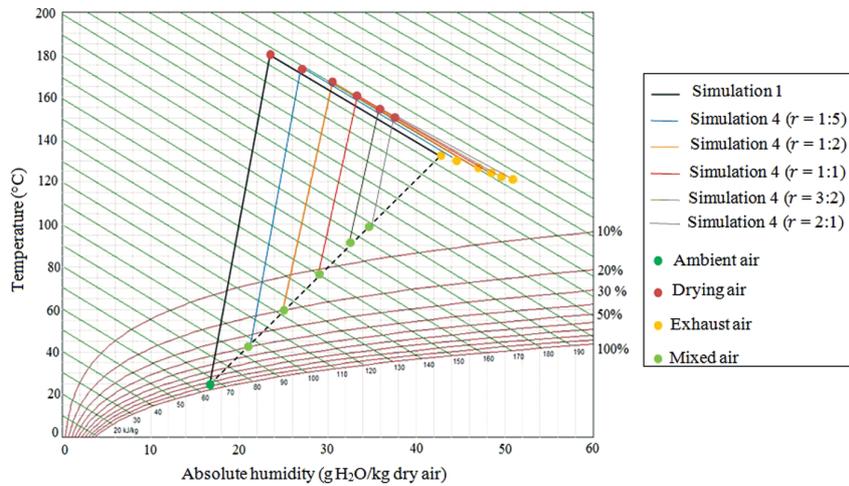


FIG. 13. Psychrometric chart showing the air conditions in the process without heat recovery (Simulation 1) and the process where heat is recovered for each recycle ratio (Simulation 4).

Heat recovery systems installed in stenters commonly used in the textile industry reduce fuel consumption by 30%.^[3,9] The same level of economy of natural gas was obtained when the recycle ratio was 1:2, indicating a good agreement of results predicted by the model with the industrial process. At higher recycle ratios, the temperature of the drying air was adjusted to lower values so that the moisture

of the fabric was 7.0% d.b. In real processes, the adjustment of the temperature of the drying air may be limited for operational reasons; for example, to meet a minimum temperature for heat setting.

The values of energy consumed for each kilogram of water evaporated (Q_{pr}) predicted by the model are within the range of values reported in the literature.^[4] Although

TABLE 6
Energy balance results of the process for each recycle ratio (Simulation 4)

r	\dot{V} (m ³ /s)	T_m (°C)	T_{da} (°C)	\dot{Q}_{da} (kJ/s)	\dot{Q}_p (kJ/s)	Q_{pr} (kJ/kg)
No recycle*	0.284	25.00*	180.00	1002.68	681.49	5926.00
1:5	0.230	42.92	173.35	811.96	593.02	5112.24
1:2	0.197	60.00	166.80	693.71	510.25	4361.11
1:1	0.147	78.75	159.45	518.74	422.36	3609.91
3:2	0.120	89.50	155.25	423.08	374.21	3171.27
2:1	0.102	96.67	152.35	358.42	342.73	2904.49

*No recycle corresponds to the Simulation 1, where 25.00°C is the temperature of the ambient air.

	RH	– relative humidity, %
	S_w	– source term, mol/(m ³ s)
1000	t	– time, s
	T	– temperature, K
1005	T_{air}	– temperature of the air, K
	T_{amb}	– ambient temperature, K
	T_{da}	– temperature of the drying air, K
1010	T_{ex}	– temperature of the exhaust air, K
	T_m	– temperature of the mixed air, K
1015	T_{wb}	– wet bulb temperature, K
	u	– velocity field of fluid phase, m/s
	u_x, u_y	– components of the velocity field, m/s
1020	\dot{V}	– volumetric flow rate of natural gas consumed by the dryer, m ³ /s
	x, y, z	– Cartesian coordinates
1025	x_i	– molar fraction of component i , (-)
	X_0	– initial solid moisture content, kg/kg
1030	X_e	– equilibrium moisture content, kg/kg

Greek Letters

	α, β, γ	– coefficients of the heat of vaporization equation
1035	Γ_w	– diffusive flux of water vapor, mol/(m ² s)
	ΔH_c	– enthalpy of combustion of natural gas, J/mol
1040	$\Delta H_{c,i}^o$	– enthalpy of combustion of component i , J/mol
	ΔH_{vap}	– enthalpy of vaporization of water, J/kg
	ε	– fabric porosity, (-)
1045	θ	– fluid phase fraction (fluid support), (-)
	κ_{air}	– thermal conductivity of dry air, W/(m K)
1050	κ_{eq}	– equivalent thermal conductivity, W/(m K)
	κ_f	– thermal conductivity of the fiber W/(m K)
	κ_{sf}	– thermal conductivity of fluid support, W/(m K)
1055	κ_w	– thermal conductivity of water, W/(m K)
	ρ_{air}	– density of the air, kg/m ³
1060	ρ_p	– density of the fabric, kg/m ³
	ρ_f	– density of the fiber, kg/m ³
	ρ_{sf}	– density of the fluid support, kg/m ³
1065	ρ_w	– density of the water, kg/m ³
	v	– molar volume of natural gas, m ³ /mol
1070	v_i	– molar volume of component i , m ³ /mol
	φ_{fw}	– adsorbed water in the fabric, mol/kg
	Φ_{R1}	– convective heat flux for area R1, J/(m ² s)
1075	Φ_{R2}	– convective heat flux for area R2, J/(m ² s)
	Ω	– heat source, W/m ³

REFERENCES

- Cherem, L.F.C. A model to predict the dimensional changes in cotton knitting fabrics (in Portuguese), Ph.D. thesis, Federal University of Santa Catarina, Florianopolis, Brazil, 2004.
- Haghi, A.K. *Heat and Mass Transfer in Textiles*; WSEAS Press: Montreal, 2011.
- Ferraz, A.D. et al. Efficiency in textile industry: Opportunities for natural gas (in Portuguese). In *Proceedings of Rio Oil and Gas Expo and Conference*, Rio de Janeiro, Brazil, September 13–16, 2010.
- Mujumdar, A.S. *Handbook of Industrial Drying*; CRC Press: New York, 2006.
- Hasanbeigi, A. Energy-efficiency improvement opportunities for the textile industry. Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, [S.I.], 2010.
- Oğulata, R.T. Utilization of waste heat recovery in textile drying. *Applied Energy* **2004**, *79*, 41–49.
- Bontempi, A. Energetic efficiency in industrial dryers: Review and experimental proposals (in Portuguese), Master's thesis, Pontifical Catholic University of Parana, Curitiba, Brazil, 2004.
- Perim, M.M. Analysis of recirculation air influence on performance of a heat pump applied to drying (in Portuguese), Master's thesis, State University of Campinas, Campinas, Brazil, 1994.
- India Ministry of Power, Bureau of Energy Efficiency. Detailed Project Report on Installation of Waste Heat Recovery System in Stenter, New Delhi, 2010.
- Hasanbeigi, A.; Price, L. A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2012**, *16*, 3648–3665.
- Sousa, L.H.C.D.; Lima, O.C.M.; Pereira, N.C. Analysis of drying kinetics and moisture distribution in convective textile fabric drying. *Drying Technology* **2006**, *24*, 485–497.
- Ceron, L.P. Development process drying in the production of rama insole for shoes (in Portuguese), Master's thesis, Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 2008.
- Xue, L. Process optimization of dryers/tenters in the textile industry, Master's thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2004.
- Borges, T.P.F. Heat pipe air heaters in stenters for textile industries. In *Proceedings of 21st Brazilian Congress of Mechanical Engineering*, Natal, Brazil, October, 24–28, 2011.
- Pemberton, S.A. A novel approach to multiphysics modeling of heat and mass transfer in porous media, Master's thesis, University of Tennessee, 2013.
- Quiniou, S.; Lesage, F.; Ventenat, V.; Latifi, M.A. Heat and mass transfer investigation in fabrics: Modeling and experimentation. In *Proceedings of Comsol Users Conference*, Paris, France, 2006.
- Onofrei, E.; Petrusic, S.; Bedek, G.; Dupont, D.; Soulat, D. Study of heat transfer through multilayer textile structure used in firefighter protective clothing. In *Proceedings of 13th Autex World Textile Conference*, Dresden, Germany, May 22–24, 2013.
- Akal, D.; Susantez, Ç.; Kahveci, K.; Akyol, U. Simulation of drying of a wool fabric. *Termotecnica* **2013**, *1*, 71–74.
- Zeineidin, T. Modeling the process of drying stationary objects inside a tumble dryer using comsol multiphysics. In *Proceedings of Comsol Users Conference*, Hannover, Germany, 2008.
- Tariku, F.; Kumaran, K.; Fazio, P. Transient model for coupled heat, air and moisture transfer through multilayered porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer* **2010**, *53*, 3035–3044.
- Hansen, L.G.; Webb, B.W. Air jet impingement heat transfer from modified surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer* **1993**, *36*, 989–997.
- Colucci, D.W.; Viskanta, R. Effect of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined impinging air jet. *Experimental Thermal and Fluid Science* **1996**, *13*, 71–80.
- Ekkad, S.V.; Kotrovitz, D. Jet impingement heat transfer on dimpled target surfaces. *International Journal of Heat and Fluid Flow* **2002**, *23*, 22–28.
- Gao, L. Effect of jet hole arrays arrangement on impingement heat transfer, Master's thesis, Louisiana State University, Louisiana, USA, 2003.
- Anderson, B.A.; Singh, R.P. Effective heat transfer coefficient measurement during air impingement thawing using an inverse method. *International Journal of Refrigeration* **2006**, *29*, 281–293.

- 1155 26. Abdel-Fattah, A. Numerical and experimental study of turbulent impinging twin-jet flow. *Experimental Thermal and Fluid Science* **2007**, *31*, 1061–1072.
27. Buchlin, J.M. Convective heat transfer in impinging-gas-jet arrangements. *Journal of Applied Fluid Mechanics* **2011**, *4*, 137–149.
28. Comsol. *Comsol Multiphysics® Reference Guide*, Version 4.3, 2012.
- 1160 29. Amestoy, P.R.; Duffy, I.S.; L'Excellent, J.Y. Multifrontal parallel distributed symmetric and unsymmetric solvers. *Computational Methods in Applied Mechanical Engineering* **2000**, *184*, 501–520.
30. Schenk, O.; Gartner, K. Solving unsymmetric sparse systems of linear equations with PARDISO. *Journal of Future Generation Computer Systems* **2004**, *20*(3), 475–487.
- 1165 31. Whitaker, S. Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media: A theory of drying. *Advances in Heat Transfer* **1977**, *13*, 119–203.
32. Thompson, T.L.; Peart, R.M.; Foster, G.H. Mathematical simulation of corn drying: A new model. *Transactions of ASAE* **1968**, *24*, 582–586.
- 1170 33. Santos, J.C.O.; Lima, O.C.M.; Pereira, N.C.; Sousa, L.H.C.D. A study of the kinetic and isothermal characteristics of polyester/cotton fabric drying. *Acta Scientiarum Technology* **2008**, *30*, 63–72.
- 1175 34. Foust, A.S.; Wenzel, L.A.; Clump, C.W.; Maus, L.; Anderson, L.B. *Principles of Unit Operations*; John Wiley and Sons: New York, 1980.
35. Tetens, O. About some meteorological terms. *Zeitschrift Geophysik* **1930**, *6*, 297–309.
- 1180 36. Poling, B.E.; Prausnitz, J.M.; O'Connell, J.P. *The Properties of Gases and Liquids*; McGraw Hill: New York, 2001.
37. Jiménez, M.E.; Weigand, R.P.; Ortega, A.O.; Carpio, R.P. Thermodynamic characterization of the adsorption process of mordant black 17 dye onto polyamide fabric. *Macromolecular Materials and Engineering* **2001**, *286*, 302–308.
- 1185 38. Park, S.; Venditti, R.A.; Jameel, H.; Pawlak, J.J. Studies of the heat of vaporization of water associated with cellulose fibers characterized by thermal analysis. *Cellulose* **2007**, *14*, 195–204.
39. Saha, P.; Chowdhury, S. Insight into adsorption thermodynamics. *Thermodynamics* **2011**, 349–364.
- 1190 40. Sopade, P.A.; Ajisejiri, E.S.; Abass, A.B. Moisture sorption study on Nigerian foods: Kuka. *Journal of Stored Products Research Journal of Stored Products Research* **30**, 331–338. Q6
41. Poling, B.E.; Thomsom, G.H.; Friend, D.G.; Rowley, R.L.; Wilding, W.V. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*; McGraw Hill: New York, 2008. 1195
42. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. *Handbook Fundamentals*; American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers: 2009. Q7
43. Gibson, P.W.; Charmchi, M. Modeling convection/diffusion processes in porous textiles with inclusion of humidity-dependent air permeability. *International Communications in Heat and Mass Transfer* **1997**, *24*, 709–724. 1200
44. Santa Catarina. *Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente; Zoneamento Ecológico-Econômico-ZEE: Vale do Itajai, Florianópolis*, 1999. 1205
45. Johann, G.; Pereira, N.C.; Lima, O.C.M.; Silva, E.A. Determining heat of desorption for textile materials. *Acta Scientiarum Technology* **2010**, *32*, 63–68.
46. Al-Muhtaseb, A.H.; McMinn, W.A.M.; Magee, T.R.A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 2: Thermodynamics characteristics. *Journal of Food Engineering* **2004**, *62*, 135–142. 1210
47. Zhu, Q.Y.; Li, Y. Numerical simulation of the transient heat and liquid moisture transfer through porous textiles with consideration of electric double layer. *International Journal of Heat and Mass Transfer* **2010**, *53*, 1417–1425. 1215
48. Sharif, M.A.R.; Banerjee, A. Numerical analysis of heat transfer due to confined slot-jet impingement on a moving plate. *Applied Thermal Engineering* **2009**, *29*, 532–540.
49. Gao, L. Effect of jet hole arrays arrangement on impingement heat transfer, Master's thesis, Louisiana State University, Louisiana, USA, 2003. 1220
50. Francis, N.D.; Wepfer, W.J. Jet impingement drying of moist porous solid. *International Journal of Heat and Mass Transfer* **1996**, *39*, 1911–1923.
51. Broadbent, A.D. *Basic Principles of Textile Coloration*, 1st Ed; Society of Dyers and Colorists: 2005. Q8
52. Crank, J. *The Mathematics of Diffusion*; Clarendon Press: Oxford, UK, 1975. 1225 Q9