

# PROJETO INTEGRADO DE DISCIPLINAS DE GRADUAÇÃO – PRODUÇÃO DE POLPA DE MORANGO

Emerson Martim<sup>a</sup>  
Marcelo Rudek<sup>b</sup>  
Anderson Wolupeek<sup>c</sup>

## RESUMO

Este trabalho está relacionado ao desenvolvimento de um projeto integrado entre as disciplinas curriculares do segundo período do curso de graduação de Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação) da PUC-PR. As disciplinas envolvidas foram Fundamentos de Processos, Álgebra Linear, Técnicas de Programação e Cálculo Diferencial e Integral II. Foram exigidos conceitos de balanço material, cálculo de volumes, resolução de sistema linear de equações, implementação em linguagem C++. O projeto consistiu de um estudo da produção de polpa de morango com certas especificações, adequação da produção em recipientes estipulados e controle de estoque do material.

**Palavras-chave:** Projeto integrado. Integração de programas de aprendizagem. Produção de polpa de morango.

## ABSTRACT

This paper reports the work related to the development of an integrated project regarding curricular subjects taught at the second period of the engineering course of Mechatronic (Control and Automation) at PUCPR. The subjects involved were: Processes Fundamentals, Linear Algebra, Techniques of Programming and Differential and Integral Calculus. Concepts of material balance, calculation of volumes, resolution of linear systems of equations, implementation in C++ language were demanded. The project consisted of a study of the pulp production of strawberry with certain specifications, adequacy of the production in stipulated containers, control of supply of the material.

**Keywords:** Integrated project. Integration of learning programs. Strawberry flesh production.

## INTRODUÇÃO

O processo de ensino-aprendizagem deve estar em constante atualização. São inúmeras as alternativas/possibilidades para que isso ocorra, contudo professor e aluno têm papel fundamental neste processo. O conhecimento é um processo de elaboração subjetivo e individual. O processo de aprender exige raciocínio, possibilidade de atuação e correlação com conhecimentos prévios. O uso das aplicações no ensino tem o objetivo de fazer com que os alunos gostem de aprender os conteúdos da disciplina, mudando a rotina da classe e despertando o interesse pelo desconhecido (MARTIM; MARIANI, 2004).

Foi implementada, no ano de 2000, no curso de Engenharia Mecatrônica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), a atividade Projeto Integrado, que consiste no desen-

volvimento de um trabalho que integre todos, ou a maioria, dos programas de aprendizagem envolvidos em um semestre regular do curso de graduação. Para o segundo semestre do curso, as disciplinas básicas são: Fundamentos de Processos, Álgebra Linear, Técnicas de Programação II e Cálculo Diferencial e Integral II. Os professores responsáveis por esses programas de aprendizagem reuniram-se no início do semestre letivo e elaboraram um projeto teórico que integrasse estas disciplinas, além da viabilidade de os alunos realizá-lo ao final do semestre. Os objetivos a serem alcançados foram a integração dos conteúdos programáticos pelos alunos, elaboração de relatório e apresentação oral perante uma banca de professores. Este trabalho apresenta o projeto proposto pelos professores, bem como o trabalho elaborado por um grupo de alunos.

<sup>a</sup> Professor do curso de Engenharia Química da PUC-PR, Doutor em Engenharia Química. E-mail: emerson.martim@pucpr.br

<sup>b</sup> Professor do curso de Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação) da PUC-PR, Doutor em Engenharia Mecânica. E-mail: marcelo.rudek@pucpr.br

<sup>c</sup> Professor do curso de Engenharia Mecatrônica (Controle e Automação) da PUC-PR, mestre em Matemática. E-mail: anderson.wolupeek@pucpr.br

## PROJETO PROPOSTO

Para o segundo semestre de 2004, o projeto integrado consistiu em simular, a partir de dados técnicos, uma indústria que produzisse uma geléia de morango. As informações do processo foram fornecidas, como a de que morangos frescos contêm 15,0% de sólidos e 85,0% de água em massa (consideração do projeto a partir de ensaios preliminares). Para a fabricação de polpa, os morangos são desintegrados com açúcar puro (sacarose) na proporção 45:55 em massa, respectivamente. A mistura é aquecida, evaporando-se a água até que o produto final (polpa) contenha um terço de água em massa. A polpa tem densidade específica igual a 1,1. Deseja-se produzir uma quantidade diária de polpa, de forma a abastecer o equipamento que estará injetando o produto em frascos adequados, lacrando-os e rotulando-os. No rótulo devem constar a data da produção, o lote e a composição mássica. Para atender a uma demanda do mercado, existem três tipos de frascos específicos (Tabela 1).

Tabela 1 - Dimensões dos frascos

Frasco	Formato	Dimensões (cm)
1	Cilíndrico	Diâmetro = 15,0 Altura = 13,0
2	Área de base hexagonal	Aresta = 10,0 Altura = 15,0
3	Paralelepípedo	10x15x17

O departamento de logística deve informar com três dias de antecedência qual deve ser a produção diária, de forma a manter o estoque em certo nível. Por exemplo, para o dia 14 de novembro, a produção deve ser de 300 unidades do frasco 2. A partir do documento emitido pelo departamento de logística, deve-se determinar a quantidade de morango fresco e de açúcar a ser solicitada para a produção da geléia e, também, a composição mássica da geléia e a quantidade de água evaporada no processo.

Um outro produto que pode ser produzido é uma geléia menos adocicada; para isso, a razão morango/açúcar alimentado varia entre 45:55 e 50:50 em massa. Este produto especial tem uma produção limitada. Portanto, o fornecedor pode solicitar o valor dessa razão e a quantidade desejada. Para este produto específico, a máquina somente trabalha com frascos do tipo 1.

Para cada quantidade requerida, deve ser emitido um relatório onde constam as quantidades necessárias de cada material (morango fresco e açúcar), além da composição mássica da geléia, que deve ser informada no rótulo do produto a ser vendido. No relatório devem constar, ainda, a quantidade de frascos produzidos naquele lote e o número do lote.

## POLPA DE MORANGO

A conservação do morango por longos períodos, com propriedades semelhantes às da fruta fresca, ainda é um desafio tecnológico a ser vencido. Nenhum método economicamente viável preserva a qualidade da fruta fresca, o que resulta na perda de suas características peculiares de textura, aroma, cor e sabor. Também por sua composição química complexa, todos os produtos processados de morango, como geléias e sucos, por exemplo, mesmo elaborados e embalados com alta tecnologia, têm vida de prateleira relativamente curta, com perdas expressivas de cor e sabor (VENDRUSCOLO; VENDRUSCOLO, 2005a).

Uma forma de conservação deve ser utilizada anteriormente à industrialização, não sendo recomendável elaborar produtos apenas na safra, os quais poderão perder sua qualidade na cadeia de comercialização se expostos por tempos prolongados. Uma dessas possibilidades é a formação de polpa (VENDRUSCOLO; VENDRUSCOLO, 2005a).

Como polpa de morango subentende-se que os morangos foram submetidos à passagem por uma despoldadeira, que os tornou uma massa homogênea, perdendo completamente a forma inicial. De maneira geral, o comércio de polpas deste produto é restrito, uma vez que pedaços, cubos, fatias e morangos inteiros são mais valorizados, exceto para sucos, porque aumentam a textura e proporcionam ao consumidor maior prazer na mastigação. O processamento térmico foi o primeiro método usado na conservação do morango (DESORIER, 1970) e, mesmo causando alterações de sabor e cor, ainda é praticado para diversas finalidades. Um grande segmento da indústria utiliza este tipo de produto para fabricação de sorvetes, recheios de doces, iogurtes, e minimiza as alterações de cor e sabor por meio de agentes flavorizantes e corantes. Os processos mais conhecidos são pasteurização em recipientes metálicos e enchimento asséptico (VENDRUSCOLO; VENDRUSCOLO, 2005b).

Com relação à quantidade de fruta na geléia, a legislação brasileira estabelece dois tipos: geléia comum, que deve ter 40 partes de fruta para 60 partes de açúcar, e geléia extra, com 50 partes de fruta para 50 partes de açúcar.

Ponto crucial e de difícil observação é o momento de retirar a geléia do aquecimento, o qual deve garantir que formará um gel. O refratômetro, que mede a concentração dos sólidos em °Brix, é a forma mais precisa, sendo utilizado no âmbito da indústria. Para pequenos produtores e donas de casa que não dispõem deste aparato, existem várias formas menos precisas, mas que, com a prática freqüente, podem tornar-se um bom indicador. Uma delas é baseada na temperatura de ebulição da geléia no seu final; outra é o resfriamento e es-

corrimento sobre uma colher. O tempo máximo de armazenamento e comercialização não deve ser superior a seis meses, visto que após este prazo o produto não apresenta mais uma coloração adequada – a cor tende ao marrom em virtude da degradação de antocianinas e de outras reações de caramelização. Para se conservar a qualidade visual do produto recomenda-se que o prazo de comercialização não seja superior a três meses (VENDRUSCOLO; VENDRUSCOLO, 2005a).

Processos em pequena escala, nos quais as substâncias são alimentadas em uma única vez e os produtos são retirados ao final, são classificados como processos em batelada. Caso não haja a reação química em questão, segundo o princípio de Lavosier, a massa de cada componente alimentada ao processo deve ser retirada ao final (FELDER; ROUSSEAU, 1999).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho resume-se em duas partes: uma aula prática para elaboração de polpa de morango e elaboração de um programa, que, com base em dados experimentais, calculasse as quantidades necessárias dos reagentes para se ter uma polpa com determinadas especificações.

Desenvolveu-se uma aula prática em laboratório para que os alunos pudessem acompanhar as etapas principais do processo industrial. Mediu-se o teor de umidade da fruta fresca em uma balança de infravermelho. Passaram-se os morangos por uma despulpadeira e, em seguida, misturou-se o produto com a sacarose na proporção morango:açúcar 45:55 em massa numa panela. Iniciou-se o aquecimento da mistura com homogeneização manual e a cada 5 min mediu-se o teor de sólidos solúveis com um refratômetro da marca Atago - Hand Refractometer, repetindo-se o procedimento até que a mistura obtivesse uma consistência de geléia.

Na parte de desenvolvimento da simulação, a partir da quantidade requerida de determinado frasco, desenvolveram-se os balanços materiais por componente e global, chegando-se a um sistema de equações lineares. Em seguida, desenvolveu-se um programa em linguagem C++ com o objetivo de resolver o sistema de equações lineares por um método numérico. O programa deve realizar os cálculos referentes à produção de geléia e apresentar os valores calculados, além de informar se a quantidade em estoque da empresa está ou não num nível adequado; deve, ainda, ler o documento (arquivo texto) do departamento de logística com as informações da produção diária necessária; usar os dados na simulação; permitir a entrada de dados para simulação, como tipo dos frascos, produção diária, quantidade de morango; gerar um relatório (arquivo texto) com a produção diária e representar graficamente o processo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Morangos foram obtidos na Fazenda Gralha Azul, da PUC-PR, em Fazenda Rio Grande, região metropolitana de Curitiba - PR. O teor de umidade dos morangos originais foi de 86,5%, valor bastante próximo ao estipulado pelo projeto original. A razão morango açúcar 45:55 permitiu a obtenção da polpa de morango.

Com as informações do problema-projeto proposto, pode-se montar um fluxograma do processo (Figura 1). A corrente  $Q_1$  é constituída de morango fresco, com 15,0% de sólidos e 85,0% em massa de água; a corrente de alimentação do processo  $Q_2$  é de sacarose pura; a corrente  $Q_3$  representa a água evaporada durante o processo de evaporação e a corrente  $Q_4$ , a polpa final produzida, a qual deve conter um terço de água; a quantidade  $Q_4$  de polpa produzida deve ser informada.

Nesse processo podem-se desenvolver balanços materiais por componente e global. Para um processo em regime permanente, sem reação química, a quantidade de matéria que entra no processo deve sair dele. Portanto, os seguintes balanços materiais podem ser desenvolvidos (FELDER; ROUSSEAU, 1999):

$$\text{Global: } Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 \quad (1)$$

$$\text{Sacarose: } Q_2 = (x_{\text{sac}})_4 \cdot Q_4 \quad (2)$$

$$\text{Sólido: } 0,15 Q_1 = (x_s)_4 \cdot Q_4 \quad (3)$$

Sabe-se ainda que a relação entre morango e açúcar adicionados é na proporção 45:55, denominando-se a esta razão de R. Dessa forma:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = R \Rightarrow Q_1 = RQ_2 \quad (4)$$

A soma das frações mássicas dos componentes que constituem uma corrente é igual a 1. Para a corrente  $Q_4$ :

$$(x_a)_4 + (x_s)_4 + (x_{\text{sac}})_4 = 1 \Rightarrow (x_s)_4 + (x_{\text{sac}})_4 = 1 - (x_a)_4 = 0,667 \quad (5)$$

Tem-se, portanto, um sistema com cinco equações lineares – equações (1) a (5) – e com cinco incógnitas –  $Q_1$ ;  $Q_2$ ;  $Q_3$ ;  $(x_s)_4$  e  $(x_{\text{sac}})_4$ . Essas equações podem ser escritas matricialmente na forma:

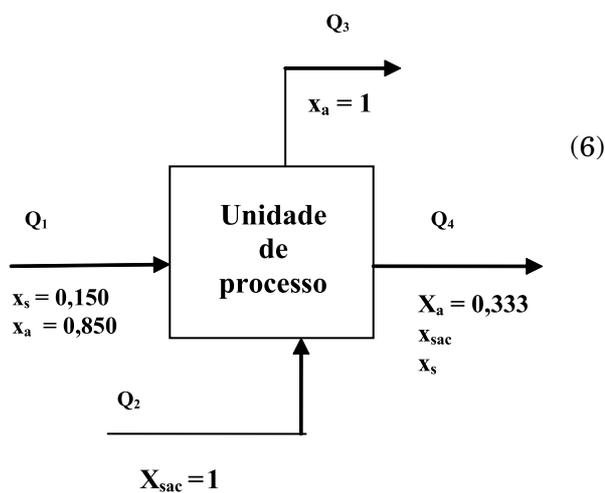


Figura 1 - Fluxograma simplificado do processo

Implementou-se em linguagem Borland++ Builder um programa que resolvesse o sistema de equações lineares apresentado acima (LEAO, 1998). Utilizou-se o método de Gauss para a resolução do sistema de equações lineares, em razão da sua simplicidade de implementação (KOLMAN; HILL, 1998).

Calculou-se o volume dos três recipientes, utilizando os conceitos básicos de cálculo integral e diferencial (SWOKOWSKI, 1994), conforme as medidas apresentadas no enunciado, encontrando-se os valores apresentados na Tabela 2. Por uma questão de segurança e padronização, adotou-se que o volume de geléia em cada frasco deve corresponder a 90,0% de sua capacidade; o volume calculado de geléia em cada frasco também está apresentado na Tabela 2. Pela densidade específica da geléia de  $1100 \text{ kg/m}^3$ , pôde-se calcular a quantidade em massa de geléia que deve ser adicionada a cada frasco (Tabela 2).

Tabela 2 - Volume e massa de geléia por frasco

Frasco	Volume frasco (cm <sup>3</sup> )	Volume de geléia (cm <sup>3</sup> )	Massa de geléia (kg)
1	2297	2067	2,274
2	3897	3507	3,858
3	2250	2025	2,228

Considere-se um pedido de quinhentos frascos do tipo 2, com proporção  $R = 45/55$ .

Massa de geléia necessária ( $Q_4$ ):  $500 \times 3,858 = 1.929 \text{ kg}$

Se se voltar ao sistema (6) com essas informações, é possível calcular as variáveis desconhecidas.

Para os dados solicitados, os seguintes valores foram obtidos:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 937,4 \text{ kg} & Q_2 &= 1.146 \text{ kg} \\ Q_3 &= 154,5 \text{ kg} & (X_s)_4 &= 0,073 \\ (X_{sac})_4 &= 0,594 & & \end{aligned}$$

Portanto, conclui-se que, para a produção de quinhentos frascos do tipo 2, são necessários 937,4 kg de morango, 1.146 kg de açúcar; são evaporados 154,4 kg de água e a composição final da geléia é de 33,3% de água, 59,9% de açúcar e 7,3% de sólidos.

Desenvolveu-se um programa em que, ao clicar no menu “Geléias”, aparecerão as opções de geléia existentes; quando se escolhe a opção “Normal”, a tela apresentada na Figura 2 aparecerá.

A Figura 2 apresenta os dados da produção de uma geléia com proporção morango/açúcar fixa em 45:55. Se o usuário clicar em “Abrir pedido”, aparecerá uma janela para se escolher o arquivo do tipo texto, que contém os dados da produção diária enviados pelo departamento de logística. O usuário pode entrar com dados sem precisar do documento da logística; apenas precisa digitar as informações nos Edit’s e clicar no botão “Calcular”.

Figura 2 - Geléia com razão 45/55

Após a escolha do documento enviado pela logística e clicar em “Calcular”, o programa informará o tipo do frasco, a quantidade a ser produzida, as vazões referentes à produção, a porcentagem dos ingredientes da geléia e o número do lote (Figura 3).

A opção “Gerar relatório diário” abre uma janela para que o usuário escolha o nome e o local onde o relatório com extensão text (nome\_do\_arquivo.txt) será salvo. O relatório contém todas as informações da produção e a data do dia de fabricação da geléia.

Se for escolhida a opção “Gráfico”, uma outra janela, igual à apresentada na Figura 4, aparecerá. O botão “Gerar gráficos” gerará um gráfico com as informações das vazões calculadas no programa.

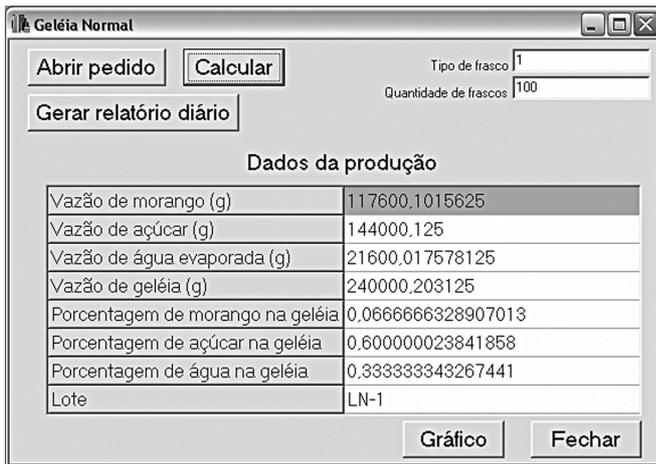


Figura 3 - Resultado gerado na tela

Caso se deseje uma geléia especial, a tela apresentada na Figura 5 aparecerá. O procedimento é o mesmo do caso anterior, com a única diferença de que, neste caso, a razão R pode ser alterada. Neste caso, a porcentagem de morango é de 60%, portanto,  $R = 60/40 = 1,5$ .

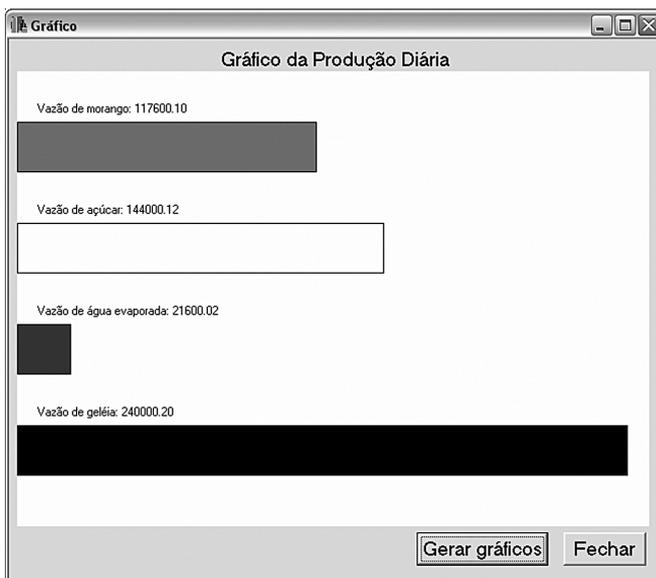


Figura 4 - Valores produzidos em forma de gráfico

Independentemente da razão morango/açúcar ou da quantidade desejada, a partir do lançamento desses dados na tela da Figura 2, instantaneamente são gerados os resultados, facilitando ao operador, que já sabe as quantidades de morango e açúcar que devem ser adicionadas. Um aprimoramento do processo seria medir o teor médio de umidade do lote de morango a ser processado e disponibilizar este dado no programa, substituindo o valor “0,15” da equação 3 por esta variável.

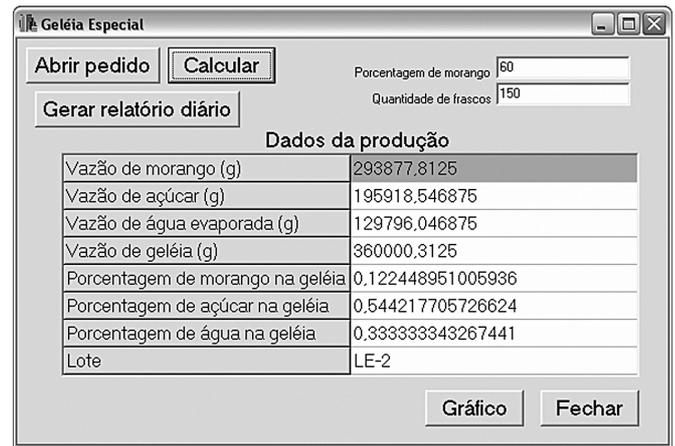


Figura 5 - Tela para geléia com proporções variadas

## CONCLUSÕES

O objetivo maior do projeto integrado foi alcançado, pois mostrou a integração existente entre as disciplinas curriculares, além de apresentar uma aplicação prática dos conceitos dos programas de aprendizagem de Cálculo, Álgebra Linear, Fundamentos de Processos e Técnicas de Programação no curso de Engenharia Mecatrônica.

Com a simulação foi possível avaliar as variáveis de processo envolvidas, bem como a eficiência dos cálculos pelo programa. O programa permite que um operador possa executar com facilidade, bastando fornecer os dados de entrada necessários.

Ao final do semestre, foi realizada uma apresentação oral para uma banca de professores, o que exigiu, além do domínio de todos os conteúdos dos programas de aprendizagem envolvidos, uma desenvoltura para apresentação em público.

## REFERÊNCIAS

- DESROSIER, N. W. *The technology of food preservation*. 3. ed. Westport: AVI, 1970. 491p.
- FELDER, R. M.; ROUSSEAU, R. W. *Elementary principles of chemical process*. 3. rd. New York: John Wiley & Sons, 2000. 675p.
- KOLMAN, B.; HILL, D. R. *Introdução à álgebra linear com aplicações*. 6. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1998. 554 p.
- LEÃO, M. *Introdução ao Borland C++ Builder*. Rio de Janeiro: Axcel Books, 1998. 165 p.
- MARTIM, E.; MARIANI, V. C. Aprendizagem no curso de Engenharia Química Baseada em Salas Laboratório, In: EDUCERE/PUCPR, IV. 2004, Curitiba. *Anais...* Curitiba, CD-ROM.
- SWOKOWSKI, W. R. *Cálculo com geometria analítica*. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. v. 1.

VENDRUSCOLO, J. L. S.; VENDRUSCOLO, C. T. Conservação de morango para a elaboração de produtos industrializados. Pelotas, RS, 2005a. Sistema de Produção de morango. Embrapa Clima Temperado, Sistemas de Produção 5, nov. 2005. Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/morango/cap14.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2006.

VENDRUSCOLO, J. L. S.; VENDRUSCOLO, C. T. Conservação de polpas morango pelo uso do calor. Pelotas, RS, 2005b. Sistema de Produção de morango. Embrapa Clima Temperado, Sistemas de Produção 5, nov. 2005. Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/morango/cap14.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2006.

## DADOS DOS AUTORES



### Emerson Martim

Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (1994), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1997) e doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2003). Atualmente é professor

Adjunto da Pontifícia Universidade Católica do Paraná e consultor da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná. Tem experiência na área de química, com ênfase em cinética química e catálise, atuando principalmente nos seguintes temas: ensino na graduação, catálise, metano, cálculo numérico, biodiesel, extração de óleos.



### Marcelo Rudek

Graduação em Engenharia de Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (1994), mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (1999) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2006). Atualmente é professor

Adjunto da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em informática industrial, atuando principalmente nos seguintes temas: visão computacional, processamento de imagens, reconhecimento de padrões, projeto orientado para manufatura, reconstrução 3D.



### Anderson Wolupeak

Graduação em Matemática pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (1978) e mestrado em Matemática Aplicada pela Universidade Estadual de Campinas (1982). Já atuou no Cefet-PR, UFPR e Unicamp. É professor Assistente da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Tem experiência na

área de matemática, com ênfase em matemática aplicada, e atualmente desenvolve estudos relacionados com métodos numéricos e técnicas de otimização.