

---

# Memorial de Atividades Acadêmicas

---

**Professor Doutor Stéphane Julia**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO

Uberlândia  
2019



**Professor Doutor Stéphane Julia**

## **Memorial de Atividades Acadêmicas**

Memorial de Atividades Acadêmicas apresentado à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos de promoção à classe de Professor Titular.

Área de concentração: Ciência da Computação

Uberlândia

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO

Data: 17 de Dezembro de 2019

Autor: **Stéphane Julia**  
Documento: **Memorial descritivo das atividades docentes  
para fins de cumprimento de requisitos para  
promoção à classe de Titular na carreira docente**  
Faculdade: **Faculdade de Computação**

Fica garantido à Universidade Federal de Uberlândia o direito de circulação e impressão de cópias deste documento para propósitos exclusivamente acadêmicos, desde que o autor seja devidamente informado.

---

Autor

O AUTOR RESERVA PARA SI QUALQUER OUTRO DIREITO DE PUBLICAÇÃO DESTE DOCUMENTO, NÃO PODENDO O MESMO SER IMPRESSO OU REPRODUZIDO, SEJA NA TOTALIDADE OU EM PARTES, SEM A PERMISSÃO ESCRITA DO AUTOR.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO

Os abaixo assinados, por meio deste, certificam que leram e recomendam para a Faculdade de Computação a aceitação do Memorial apresentado por Stéphane Julia como parte dos requisitos exigidos para promoção para a classe de Titular na carreira de docente, conforme Resolução número 03/2017 do Conselho Diretor da Universidade Federal de Uberlândia.

Banca Examinadora:

---

Prof(a). Dr(a). Márcia Aparecida Fernandes  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Prof(a). Dr(a). Myriam Regattieri de Biase Da Silva Delgado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Trabuco Dorea  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

---

Prof. Dr. Roberto Willrich  
Universidade Federal de Santa Catarina



*Este trabalho é dedicado a Robert Valette, que,  
mais de vinte anos atrás, aceitou-me como aluno de Doutorado.*



---

# Agradecimentos

Ao Brasil e a suas instituições, por terem-me concedido a oportunidade de me expressar no mundo acadêmico.

Aos alunos de Doutorado, Mestrado e Graduação que confiaram na minha orientação e, sem os quais, este memorial não existiria.

Aos meus colegas da Faculdade de Computação que, através de nossa convivência dentro da Faculdade, participaram do meu crescimento como profissional da docência universitária.

Aos amigos brasileiros, que me receberam e me ajudaram a entender o meu novo país.

A meus pais, que me apoiaram em momentos decisivos da minha vida.

A minha família brasileira, que me acolheu com tanto carinho.

A meu filho Etienne e a minha filha Roxanne, por fazerem da minha vida uma aventura repleta de magia.

Por fim, a Rita, por estar sempre ao meu lado e dar sentido à minha existência.



*“Je rêve, donc je suis.”*  
*(Stefan Wul - Noô)*



---

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de rede de Petri . . . . .	72
Figura 2 – Exemplo de Workflow net . . . . .	89



---

## Lista de siglas

**CAPES** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

**CNPq** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

**CNRS** Centre National de la Recherche Scientifique

**CPN** Colored Petri nets

**FAPEMIG** Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais

**IOWF-net** WorkFlow net Interorganizacionais

**LAAS** Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes

**MARTE** Modeling and Analysis of Real Time and Embedded systems

**MATLAB** Matrix Laboratory

**MEC** Ministério da Educação

**RdPCH** Redes de Petri Coloridas Hierárquicas

**REUNI** Reestruturação e Expansão das Universidades Federais

**RHAE** Formação de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas

**RPG** role-playing game

**SOA** Service Oriented Architecture

**STR** Sistemas de Processamento em Tempo Real

**SysML** Systems Modeling Language

**UML** Unified Modeling Language



---

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>RESUMO DAS MINHAS ATIVIDADES NA DOCÊNCIA UNI- VERSITÁRIA A PARTIR DE 1997 . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>2.1</b>	<b>Período como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Engenharia Elétrica (1997-1999) . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>2.2</b>	<b>Período como Professor Visitante no Departamento de Infor- mática (1999-2002) . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>2.3</b>	<b>Período como Professor Efetivo na Faculdade de Computação (2002-atual) . . . . .</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>ATIVIDADES DE ENSINO DESDE 1997 . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Atividades de Ensino como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Engenharia Elétrica (1997-1999) . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Sistemas e Eventos Discretos (pós-graduação) . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Sistemas Sequenciais (graduação) . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Atividades de Ensino como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Informática (1999-2002) . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Teoria dos Grafos (graduação) . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Introdução à Teoria das Filas (graduação) . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Engenharia de Software (pós-graduação) . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Atividades de Ensino como Professor Efetivo na Faculdade de Computação (2002-Atual) . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Disciplinas ministradas na Graduação . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Disciplinas ministradas na pós-graduação em Ciência da Computação .</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>ATIVIDADES ACADÊMICAS GERAIS . . . . .</b>	<b>41</b>

4.1	Introdução . . . . .	41
4.2	Apresentação de Mini-Curso em Evento Científico . . . . .	41
4.3	Apresentação de Palestra em evento acadêmico internacional . . . . .	41
4.4	Apresentação Oral de Artigos em Conferências Científicas . . . . .	42
4.5	Consultor Ad-Hoc dos Órgãos de Fomento para Avaliação de Projetos de Pesquisa e Extensão . . . . .	42
4.6	Participação em Bancas de Doutorado . . . . .	42
4.7	Participação em Bancas de Qualificação de Doutorado . . . . .	44
4.8	Participação em Bancas de Mestrado . . . . .	44
4.9	Participação em Bancas de Qualificação de Mestrado . . . . .	48
4.10	Participação em Bancas de Trabalho de Conclusão de Graduação . . . . .	48
4.11	Revisor de Artigos para Periódicos Científicos . . . . .	52
4.12	Revisor de Artigos para Conferências Científicas . . . . .	53
4.13	Participação na Elaboração de Planos Pedagógicos . . . . .	53
4.14	Atividades Administrativas na Faculdade de Computação e na Universidade Federal de Uberlândia . . . . .	54
4.15	Membro de Bancas de Concursos Públicos . . . . .	54
4.16	Orientações concluídas de Alunos de Doutorado . . . . .	55
4.17	Orientações concluídas de Alunos de Mestrado . . . . .	55
4.18	Orientação concluída de Aluno de Iniciação Científica . . . . .	57
4.19	Orientações concluídas de Trabalhos de Conclusão de Graduação . . . . .	57
4.20	Coordenação e Participação em Projetos de Pesquisa e Extensão . . . . .	59
4.20.1	Participação em Projetos de Pesquisa/Extensão RHAE-CNPq . . . . .	59
4.20.2	Participação em Projetos de Pesquisa/Extensão como Professor Visi- tante Estrangeiro . . . . .	60
4.20.3	Coordenação e Participação em Projetos de Pesquisa Universal FAPEMIG . . . . .	60
4.21	<b>Publicações Científicas . . . . .</b>	<b>60</b>
4.21.1	Publicações em Periódicos Internacionais . . . . .	60
4.21.2	Publicação de Capítulo de Livro . . . . .	61
4.21.3	Publicações em Congressos Nacionais e Internacionais . . . . .	62
<b>5</b>	<b>PESQUISA . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>5.1</b>	<b>Pesquisa no Âmbito do Doutorado . . . . .</b>	<b>71</b>
5.1.1	Introdução . . . . .	71
5.1.2	Dados gerais de Doutorado: <i>Conception et Pilotage de Cellules Fle- xibles à fonctionnement répétitif modélisées par Réseaux de Petri</i> . . . . .	72
5.1.3	Participação no Projeto RHAE-CNPq: Analytice . . . . .	73
5.1.4	Participação no Projeto RHAE-CNPq: Desenvolvimento de um sistema de controle digital segundo o padrão <i>open Firmware</i> . . . . .	74
5.1.5	Resultados Científicos obtidos . . . . .	74

<b>5.2</b>	<b>Pesquisa desenvolvida no âmbito do Projeto MEC (Professor Visitante Estrangeiro): Controle em Tempo Real de Sistemas Flexíveis de Manufatura . . . . .</b>	<b>75</b>
5.2.1	Dados gerais do Projeto . . . . .	75
5.2.2	Orientação de Mestrado do Aluno Clarimundo Machado Moraes Júnior: Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando uma Rede de Petri p-temporal t-temporizada com mecanismo de retrocesso inteligente	76
5.2.3	Orientação de Mestrado da Aluna Elisângela Mieko Kanacilo: Uma abordagem para verificação de cenários de sistemas tempo real baseada em diagramas dinâmicos UML e em um jogador de redes de Petri .	77
5.2.4	Orientação de Mestrado do Aluno Silvio Bacalá Júnior: Arquitetura de software baseada numa abordagem UML - Redes de Petri com prevenção de bloqueio mortal em sistemas de tempo real . . . . .	78
5.2.5	Resultados Científicos obtidos . . . . .	79
<b>5.3</b>	<b>Coordenação do Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG: Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de Sistemas Tempo Real . . . . .</b>	<b>81</b>
5.3.1	Introdução . . . . .	81
5.3.2	Dados gerais do Projeto . . . . .	81
5.3.3	Equipe de Pesquisadores . . . . .	82
5.3.4	Orientação de Mestrado do Aluno Michel dos Santos Soares: Uma abordagem baseada num jogador de redes de Petri p-temporal e no cálculo de sequentes da lógica linear para a verificação de cenários de sistemas tempo real especificados através de diagramas dinâmicos da UML . . . .	82
5.3.5	Orientação de Mestrado da Aluna Fernanda Francielle de Oliveira: Problema do escalonamento em tempo real dos sistemas de gerenciamento de workflow baseado em um modelo de rede de Petri híbrida p-temporal	83
5.3.6	Orientação de Mestrado da Aluna Joslaine Cristina Jeske: Mecanismo de alocação de recursos fuzzy para sistemas de gerenciamento de workflow	84
5.3.7	Orientação de Iniciação Científica do Aluno André Luiz Bernardo Ramos: Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de sistemas tempo real . . . . .	85
5.3.8	Resultados Científicos obtidos . . . . .	86
<b>5.4</b>	<b>Coordenação do Projeto: Modelagem, análise e simulação de processos de Workflow usando redes de Petri: aplicação à Engenharia de Software . . . . .</b>	<b>88</b>
5.4.1	Introdução . . . . .	88
5.4.2	Dados do Projeto . . . . .	89
5.4.3	Equipe de Pesquisadores . . . . .	89

5.4.4	Orientação de Mestrado da Aluna Ligia Maria Soares Passos: Formalização de Workflow nets utilizando Lógica Linear: análise qualitativa e quantitativa . . . . .	90
5.4.5	Orientação de Mestrado do Aluno Flávio Félix Medeiros: Análise sob restrições baseada em um raciocínio energético para o problema de escalonamento tempo real de sistemas de gerenciamento de Workflow . . .	91
5.4.6	Orientação de Mestrado da Aluna Liliane do Nascimento Vale: Especificação de testes funcionais usando Redes de Petri a objetos para Softwares Orientados a Objetos . . . . .	91
5.4.7	Orientação de Mestrado do Aluno Guilherme William de Oliveira: Modelagem e Análise de <i>Video Game</i> usando as Workflow nets e a Lógica Linear . . . . .	92
5.4.8	Orientação de Mestrado da Aluna Leiliane Pereira de Rezende: Workflow net possibilística para problemas de não conformidade em processos de negócios . . . . .	93
5.4.9	Resultados Científicos relacionados às Orientações de Mestrado das Alunas Ligia Maria Soares Passos, Liliane do Nascimento Vale, Leiliane Pereira de Rezende e dos Alunos Flávio Félix Medeiros, Guilherme William de Oliveira . . . . .	94
<b>5.5</b>	<b>Participação no Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG: Modelagem e Análise de Sistemas Distribuídos de Tempo Real Usando MARTE e SysML . . . . .</b>	<b>96</b>
5.5.1	Introdução . . . . .	96
5.5.2	Dados gerais do Projeto . . . . .	96
5.5.3	Orientação de Mestrado da Aluna Luciane de Fátima Silva: Detecção e correção de situações de <i>deadlock</i> em Workflow nets interorganizacionais	97
5.5.4	Resultados Científicos relacionados à Orientação de Mestrado da Aluna Luciane de Fátima Silva . . . . .	97
<b>5.6</b>	<b>Coordenação do Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG: Modelagem, Análise e Monitoramento de processos de negócio flexíveis utilizando as Workflow nets e Lógicas não clássicas . .</b>	<b>98</b>
5.6.1	Introdução . . . . .	98
5.6.2	Dados gerais do Projeto . . . . .	98
5.6.3	Equipe de Pesquisadores . . . . .	99
5.6.4	Orientação de Doutorado da Aluna Ligia Maria Soares Passos: Uma metodologia baseada na lógica linear para verificação de processos de <i>workflow</i> interorganizacionais . . . . .	99

5.6.5	Orientação de Doutorado da Aluna Leiliane Pereira de Rezende: Workflow net possibilística aplicada aos sistemas de gerenciamento de processos de negócios flexíveis . . . . .	101
5.6.6	Orientação de Doutorado da Aluna Joslaine Cristina Jeske: Dimensionamento e gerenciamento de workflow net com recursos usando redes de Petri híbridas fuzzy . . . . .	103
5.6.7	Orientação de Mestrado do Aluno Vinícius Ferreira De Oliveira: Uma regra de sincronização baseada na Lógica Linear para prevenção de deadlock em Workflow nets interorganizacionais . . . . .	104
5.6.8	Resultados Científicos relacionados às Orientações de Doutorados das Alunas Ligia Maria Soares Passos, Leiliane Pereira de Rezende, Joslaine Cristina Jeske e à Orientação de Mestrado do Aluno Vinícius Ferreira De Oliveira . . . . .	105
<b>5.7</b>	<b>Pesquisa no âmbito da Modelagem de Sistemas Híbridos . . . . .</b>	<b>108</b>
5.7.1	Introdução . . . . .	108
5.7.2	Orientação de Mestrado da Aluna Michele Nasu Tomiyama: Modelagem e Simulação de Processos Biológicos usando Redes de Petri Predicado Transição Diferenciais . . . . .	108
5.7.3	Resultados Científicos relacionados ao tema sobre modelagem de Sistemas Híbridos e à Orientação de Mestrado da Aluna Michele Nasu Tomiyama . . . . .	109
<b>5.8</b>	<b>Pesquisa no âmbito da Modelagem de Algoritmos Paralelos utilizados em Inteligência Artificial . . . . .</b>	<b>110</b>
5.8.1	Introdução . . . . .	110
5.8.2	Co-orientação de Doutorado do Aluno Clarimundo Machado Moraes Júnior: Uma abordagem para avaliar o desempenho de algoritmos baseada em simulações automáticas de modelos de redes de Petri coloridas hierárquicas (RdPCH) . . . . .	111
5.8.3	Resultados Científicos relacionados à Orientação de Doutorado do Aluno Clarimundo Machado Moraes Júnior . . . . .	112
<b>5.9</b>	<b>Pesquisa no âmbito das Orientações em andamento . . . . .</b>	<b>113</b>
5.9.1	Orientação de Doutorado e Mestrado da Aluna Franciny Medeiros Barreto: Redes de Petri para Modelagem, Análise e Simulação de <i>Video Games</i> . . . . .	113
5.9.2	Orientação de Doutorado da Aluna Kênia Santos de Oliveira: Cálculo dos Sequentes da Lógica Linear Aplicado às WorkFlow nets para Verificação de Requisitos em Arquiteturas Orientadas a Serviços . . . . .	114
<b>5.10</b>	<b>Internacionalização da Pesquisa . . . . .</b>	<b>116</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>119</b>

REFERÊNCIAS ..... 121

---

## Introdução Geral

Este documento relata as minhas atividades profissionais acadêmicas no ensino superior, iniciadas em 1997 junto à Universidade Federal de Uberlândia. Tais atividades se referem à minha atuação nos seguintes setores: ensino, pesquisa, administrativos, extensão e acadêmico gerais.

Essencialmente, a apresentação das atividades é feita em uma linha progressiva de tempo. O objetivo, neste caso, é a rastreabilidade, de modo tal a mostrar o encadeamento que elas mantêm entre si. Apenas no capítulo cujas informações são resumidas a partir do Curriculum Lattes (capítulo 4) é adotada a cronologia regressiva do sistema do CNPq.

A descrição das atividades desenvolvidas está dividida em 4 partes. No capítulo 2 é apresentado um resumo das minhas atividades na docência universitária desde 1997. Tal resumo é necessário para a compreensão da coerência do conteúdo global exposto. Em particular, ele situa o meu início de carreira no contexto histórico de criação e crescimento da Faculdade de Computação. No capítulo 3 são descritas as disciplinas que eu ministrei desde o início da minha carreira. A descrição das atividades acadêmicas gerais (de gestão administrativa, de extensão, de participação em bancas e de atividades técnicas em geral) se encontra no capítulo 4. Por fim, o capítulo 5 traz as atividades detalhadas de pesquisa (projetos e orientações).



---

## Resumo das minhas atividades na docência universitária a partir de 1997

O presente capítulo tem como propósito apresentar o resumo da minha vida acadêmica no ensino Superior, incluindo o período que antecede a minha contratação como Professor Efetivo na Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia.

### 2.1 Período como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Engenharia Elétrica (1997-1999)

No ano de 1997, depois de ter defendido, no *Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes* (LAAS -Toulouse - França), a minha Tese de Doutorado da Universidade Paul Sabatier, eu vim para o Brasil em busca de uma alocação profissional na área acadêmica. Na época, consegui um posto de Professor Visitante Estrangeiro, por meio da aprovação de uma proposta de pesquisa que submeti no contexto de um edital do então denominado Ministério da Educação e Cultura (MEC). Tais atividades de pesquisa foram desenvolvidas no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, em um projeto de pesquisa do grupo de Automação e Controle, na área de Modelagem de Sistemas Híbridos (Sistemas que incorporam num mesmo formalismo características tanto discretas quanto contínuas). Neste primeiro contato com a docência, no primeiro semestre de 1998, tive a oportunidade de ministrar as minhas primeiras aulas (na disciplina de Sistemas a Eventos Discretos) no programa de pós-graduação do Departamento de Engenharia Elétrica, bem como de orientar o meu primeiro aluno de Mestrado (JÚNIOR, 2000). No segundo semestre do mesmo ano, fui convidado pela coordenação do curso de graduação em Engenharia Elétrica para ministrar a disciplina optativa: Sistemas Sequenciais. Aproveitei também meus dois primeiros anos como Professor Visitante Estrangeiro para produzir resultados científicos na área do projeto de pesquisa do grupo de Automação e Controle ((JULIA; JÚNIOR, 2000) (JULIA; JÚNIOR, 1999) (JULIA;

VALETTE; FERNANDES, 1998) (JULIA et al., 1998)) e para dar continuidade aos trabalhos de pesquisa que tinham sido desenvolvidos durante o meu Doutorado ((JULIA; VALETTE, 1999) (JULIA; VALETTE, 2000)). O meu início de carreira como Professor Visitante Estrangeiro coincidiu também com a vinda do Congresso Brasileiro de Automação (XII CBA) para a cidade de Uberlândia, organizado na época pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia. Na ocasião, recebi um convite da comissão organizadora para apresentar um minicurso ((JULIA, 1998a)) na minha área de atuação: a teoria das Redes de Petri.

## 2.2 Período como Professor Visitante no Departamento de Informática (1999-2002)

Durantes os meus dois primeiros anos como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Engenharia Elétrica, a aposentadoria de vários docentes, bem como a transferência de outros tantos para outras unidades acadêmicas, provocou um período de interrupção das atividades de pesquisa em Automação e Controle da Engenharia Elétrica. Anos depois, através de novas contratações de Professores, uma nova proposta em Automação e Controle voltou a existir na então nova Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT), em particular com a criação de um novo curso de graduação em Automação e Controle.

Na época do período de interrupção das pesquisas do grupo de Automação e Controle, recebi uma proposta da Coordenadora do curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Departamento de Informática da Universidade Federal de Uberlândia (Prof. Márcia Aparecida Fernandes) para ministrar disciplinas naquele curso. Também fui convidado a integrar um projeto de pesquisa/extensão em parceria com a empresa de telecomunicação CTBC Telecom, coordenado na época por um dos professor do Departamento de Informática (Prof. Pedro Frosi Rosa). Foi dessa forma que dei prosseguimento a minhas atividades como Professor Visitante Estrangeiro atuando no curso de Ciência da Computação. A primeira disciplina que eu ministrei em tal curso foi **Teoria dos Grafos**.

Quando eu entrei no Departamento de Informática em 1999, o único curso que o compunha era o Bacharelado em Ciência da Computação. No ano 2000, com uma reforma administrativa geral da estrutura da Universidade Federal de Uberlândia, o Departamento de Informática se tornou a Faculdade de Computação.

Minha chegada à Faculdade de Computação coincidiu com a decisão de criar um programa de pós-graduação em nível de Mestrado acadêmico em Ciência da Computação. Integrei na época o grupo de pesquisa em Engenharia de Software e, no primeiro semestre de existência do programa, tornei-me orientador de dois alunos de Mestrado ((JÚNIOR, 2003) (KANACILO, 2003)). É também no primeiro semestre do ano 2001 que eu ministrei a minha primeira disciplina (**Engenharia de Software**) no curso de Mestrado

em Ciência da Computação da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia. Permaneci até 2002 como Professor Visitante Estrangeiro na Faculdade de Computação, desenvolvendo atividades diversas de ensino, pesquisa, orientação e participação em projetos pedagógicos de cursos.

## 2.3 Período como Professor Efetivo na Faculdade de Computação (2002-atual)

No ano de 2002 fui aprovado em um concurso público para Professor Efetivo na área de Engenharia de Software, tornando-me, finalmente, Professor na classe Adjunto 1 da Faculdade de Computação. De 2002 até o presente momento, tive a oportunidade de acompanhar o crescimento da Faculdade participando diretamente de numerosas atividades relacionadas à docência universitária. Das atividades mais intensas que eu vivenciei em termo de novas experiências, posso destacar:

- a participação na elaboração do novo plano pedagógico do curso de Bacharelado em Ciência da Computação. De fato, uma nova proposta mais adaptada às diretrizes da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) foi implementada na época por boa parte do corpo docente da Faculdade e entrou em funcionamento no segundo semestre de 2010. Atuei na época na nova proposta do conteúdo programática das disciplinas de Engenharia de Software e das disciplinas teóricas da Computação (Teoria dos Grafos, Teoria da Computação, Teoria das Filas etc.);
- a participação na elaboração do projeto de curso de Doutorado em Ciência da Computação. Eu fui responsável, juntamente com a Professora Gina Maira Barbosa de Oliveira, pela elaboração da primeira versão do regulamento do referido curso. O primeiro processo seletivo para alunos de Doutorado aconteceu em 2012 e a primeira defesa de Tese de Doutorado do Programa de pós-graduação, que aconteceu em 2016, foi de uma das minhas alunas de Doutorado, Lígia Maria Soares Passos (PASSOS, 2016).

Atualmente ministro regularmente disciplinas de Computação em diversos cursos de graduação e de pós-graduação da Universidade Federal de Uberlândia, sou credenciado como orientador de Mestrado e de Doutorado no programa de pós-graduação em Ciência da Computação, bem como coordeno o curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Faculdade de Computação.

As diversas atividades que venho desenvolvendo como Professor Efetivo da Faculdade de Computação serão apresentadas em detalhe nos próximos capítulos deste memorial.



---

## Atividades de Ensino desde 1997

### 3.1 Introdução

O presente capítulo tem como propósito apresentar o resumo das minhas atividades de ensino tanto na graduação quanto na pós-graduação, bem como o impacto das atividades de pesquisa nesse panorama. Para tanto, com relação às disciplinas ministradas, mostram-se aqui: os objetivos; as ementas resumidas; os principais livros-texto; as quantidades médias de alunos; as periodicidades de oferecimento; e, sempre que pertinente, as relações entre os tópicos ministrados e aqueles envolvidos nas minhas atividades de pesquisa.

### 3.2 Atividades de Ensino como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Engenharia Elétrica (1997-1999)

É no antigo Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia que eu tive a oportunidade de ministrar as primeiras aulas da minha carreira como docente tanto na pós-graduação (disciplina de Sistemas a Eventos Discretos) quanto na graduação (disciplina de Sistemas Sequenciais).

#### 3.2.1 Sistemas a Eventos Discretos (pós-graduação)

Tal disciplina foi ministrada no contexto do curso de Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica. Foi um tópico apresentado na época como uma necessidade do Grupo de Automação e Controle do programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica para apresentar uma visão Discreta dos Sistemas.

- Objetivos: apresentar um modelo formal para a representação e análise dos Sistemas a Eventos Discretos.

- ❑ Ementa: autômatos finitos e suas limitações para a representação explícita do paralelismo nos sistemas complexos; redes de Petri autônomas e suas propriedades; algoritmos de verificação das boas propriedades das redes de Petri e das propriedades estruturais; redes de Petri interpretadas, temporais e estocásticas; redes de Petri de alto nível e Coloridas.
- ❑ Bibliografia principal: *Redes de Petri* de Janette Cardoso e Robert Valette (CARDOSO; VALETTE, 1997); *Petri Nets and Grafcet: Tools for Modelling Discrete Event Systems* de René David e Hassane Alla (DAVID; ALLA, 1992).
- ❑ Quantidade média de alunos: 15
- ❑ Periodicidade: a disciplina foi ministrada durante dois semestres no período em que eu fiquei no Departamento de Engenharia Eletrica como Professor Visitante Estrangeiro.
- ❑ Relação com meus Temas de Pesquisa: tal disciplina apresenta os fundamentos básicos da Teoria das Redes de Petri e constitui, desde a época do meu Doutorado, o meu principal tema de pesquisa.

### 3.2.2 Sistemas Sequenciais (graduação)

Foi um tópico apresentado na época no contexto de uma disciplina optativa para os alunos de graduação do curso de Engenharia Eletrica.

- ❑ Objetivos: apresentar métodos e técnicas de Lógica sequencial baseados em autômatos para a elaboração de circuitos de cálculo e de comando de computadores.
- ❑ Ementa: circuitos elementares dos sistemas sequenciais; concepção de circuitos sequenciais (método de Huffman); modelagem por máquinas de estados de sistemas de comando industriais; introdução das redes de Petri interpretadas para a modelagem de sistemas a evolução simultânea; introdução da normal industrial “Grafcet”.
- ❑ Bibliografia principal: *Commande des procédés discontinus: logique séquentielle* de Marc Courvoisier e Robert Valette (COURVOISIER; VALETTE, 1993); *Redes de Petri* de Janette Cardoso e Robert Valette (CARDOSO; VALETTE, 1997); *Petri Nets and Grafcet: Tools for Modelling Discrete Event Systems* de René David e Hassane Alla (DAVID; ALLA, 1992).
- ❑ Quantidade média de alunos: 25
- ❑ Periodicidade: a disciplina foi ministrada somente por um semestres no período em que eu fiquei no Departamento de Engenharia Eletrica como Professor Visitante Estrangeiro.

- ❑ Relação com meus Temas de Pesquisa: tal disciplina apresenta os fundamentos básicos de modelos usados para representação de sistemas a eventos discretos, em particular para a realização de circuitos sequenciais e de sistemas de comandos industriais. Na época em que eu ministrava a disciplina, eu estava envolvido ainda com assuntos relacionados à minha tese de Doutorado, em particular, à modelagem e análise de sistemas de comando industriais no contexto dos Sistemas Flexíveis de Manufatura.

### 3.3 Atividades de Ensino como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Informática - (1999-2002)

#### 3.3.1 Teoria dos Grafos (graduação)

Quando eu ainda era Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Engenharia Elétrica, recebi um convite da Professora Márcia Aparecida Fernandes, que era na época a Coordenadora do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Departamento de Informática, para ministrar a disciplina “Teoria dos Grafos”. Tal disciplina fazia parte do grupo de disciplinas optativas do currículo antigo do curso de Bacharelado em Ciência da Computação (graduação), criado em 1988 junto com o Departamento de Informática. Como eu havia estudado durante a minha Tese de Doutorado o problema do Escalonamento de Sistemas de Manufatura baseado em Grafos, eu estava com uma certa experiência no assunto e achei o desafio interessante, uma vez que tinha o propósito de atuar na área de informática.

- ❑ Objetivos: apresentar os métodos de resolução dos principais problemas baseados em Grafos.
- ❑ Ementa: noções básicas de Grafos orientados e não orientados; representação matricial e geométrica dos Grafos; planaridade de Grafos; Subgrafos; Árvores geradoras; Conectividade; passeios Euleriano e Hamiltoniano; coloração de Vértices e de Arestas; Fluxos em redes; problemas de caminhos.
- ❑ Bibliografia principal: *Graphs and algorithms* de Michel Gondran e Michel Minoux (GONDRAM; MINOUX, 1984); *Graph Theory with Applications* de John Adrian Bondy e U.S.R Murty (BONDY; MURTY, 1976); *Modern Graph Theory* de Béla Bollobás (BOLLOBAS, 1998).
- ❑ Quantidade média de alunos: 30

- Periodicidade: Como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Informática, eu ministrei a disciplina 3 vezes. Depois de me tornar Professor Efetivo em 2002 e até a disciplina se tornar obrigatória na atualização do plano pedagógico do curso em 2010, eu ministrei a disciplina regularmente (anualmente) até 2008.
- Relação com meus Temas de Pesquisa: tal disciplina apresenta os fundamentos básicos de modelos usados para representação de problemas clássicos de Pesquisa Operacional. Na época em que eu ministrava a disciplina, eu estava envolvido ainda com assuntos relacionados à minha tese de Doutorado, em particular com problemas de Escalonamento no contexto dos Sistemas Flexíveis de Manufatura.

### 3.3.2 Introdução à Teoria das Filas (graduação)

Depois da minha transferência para o Departamento de Informática, ainda como Professor Visitante Estrangeiro, além de receber propostas para ministrar disciplinas no programa de pós-graduação, comecei a receber, regularmente, com grande satisfação, convites para ministrar também disciplinas optativas e obrigatórias no curso de Bacharelado em Ciência da Computação. A primeira disciplina obrigatória que ministrei foi “Teoria das Filas”.

- Objetivos: introduzir a problemática dos processos estocásticos com ênfase nos modelos de filas.
- Ementa: cadeias de Markov; processo de Poisson; distribuição exponencial; processo de Nascimento e Morte; introdução aos principais modelos de filas de espera (notação de Kendall); exemplos de sistemas representados por modelos de filas.
- Bibliografia principal: *Probability and Random Processes: A First Course with Applications* de Bruce Clarke e Ralph Disney (CLARKE; DISNEY, 1985); *Computer Networks and Systems - Queueing theory and Performance Evaluation* de Thomas G. Robertazzi (G.ROBERTAZZI, 2000); *Probability and statistics with reliability, queueing and computer science applications* de Kishor S. Trivedi (TRIVEDI, 1982).
- Quantidade média de alunos: 30
- Periodicidade: Como Professor Visitante Estrangeiro no Departamento de Informática, eu ministrei a disciplina 3 vezes. Depois de me tornar Professor Efetivo em 2002, eu ministrei a disciplina regularmente (anualmente) até 2012.
- Relação com meus Temas de Pesquisa: tal disciplina apresenta os fundamentos básicos dos modelos estocásticos usados para representação de problemas clássicos de Filas de espera e são geralmente utilizados para tratar problemas de desempenho e de dimensionamento de recursos em Sistemas de Tempo Real. Na época em que

eu ministrava a disciplina, eu estava envolvido ainda com assuntos relacionados à minha tese de Doutorado, em particular com problemas de dimensionamento de quantidades de recursos discretos em Sistemas de Manufatura baseados em modelos a eventos discretos temporizados probabilísticos.

### 3.3.3 Engenharia de Software (pós-graduação)

Tal disciplina foi a minha primeira disciplina obrigatória ministrada no contexto do curso de Mestrado em Ciência da Computação. Foi um tópico apresentado na época como uma necessidade do grupo de Engenharia de Software do programa de pós-graduação em Ciência da Computação.

- ❑ **Objetivos:** apresentar as principais atividades relacionadas à verificação, validação e teste de Software, bem como discutir as principais responsabilidades de um gerente de projeto no contexto de um processo de desenvolvimento de software.
- ❑ **Ementa:** introdução à Engenharia de Software; modelos de especificação de Requisitos e de Arquiteturas de Software; gestão do processo de desenvolvimento de software; projeto da Interface com o usuário; teste de programas; qualidade de software.
- ❑ **Bibliografia principal:** *Engenharia de Software* de Roger S. Pressman (PRESSMAN, 1995); *Engenharia de Software* de Ian Sommerville (SOMMERVILLE, 2000).
- ❑ **Quantidade média de alunos:** 15
- ❑ **Periodicidade:** a disciplina foi ministrada durante dois semestres no período em que eu fiquei no Departamento de Informática como Professor Visitante Estrangeiro. Depois de me tornar Professor Efetivo em 2002, eu ministrei a disciplina regularmente (anualmente) até 2006.
- ❑ **Relação com meus Temas de Pesquisa:** tal disciplina apresenta as atividades básicas existentes no processo de desenvolvimento de software. Na época em que eu ministrava a disciplina, eu estava envolvido ainda com assuntos relacionados à minha tese de Doutorado, principalmente com problemas de especificação de modelos de análise e de arquitetura de Sistemas de Manufatura no contexto da Engenharia Assistida por Computador (CAE) e da Manufatura Assistida por Computador (CAM). Também, na época, tinham sido desenvolvidos, no contexto da minha Tese, algoritmos de análise de especificações formais (verificação de boas propriedades dos modelos) e de simulação de sistemas com características de Tempo Real. Tais atividades contemplavam boa parte das atividades que se encontram no desenvolvimento de Software para operar em Tempo Real.

## 3.4 Atividades de Ensino como Professor Efetivo na Faculdade de Computação (2002-Atual)

No ano 2000, como resultado de uma reforma administrativa geral da estrutura da Universidade Federal de Uberlândia, o Departamento de Informática (DEINF) se converteu na Faculdade de Computação (FACOM).

A partir de 2002, por meio de aprovação em concurso público, tornei-me Professor Efetivo da Universidade Federal de Uberlândia, com lotação na então recente Faculdade de Computação. É também importante destacar que foi iniciada no mesmo período uma reforma global do plano pedagógico do curso de graduação de Bacharelado em Ciência da Computação, o qual foi definitivamente implantado em 2010, tendo sofrido pequenos reajustes em 2012.

### 3.4.1 Disciplinas ministradas na Graduação

Depois de me tornar Professor Efetivo da Faculdade de Computação, continuei a ministrar normalmente as disciplinas **Teoria dos Grafos** (até 2008) e **Introdução à Teoria das Filas** (até 2012) no contexto do curso de Bacharelado em Ciência da Computação. Outras disciplinas que venho ministrando até hoje em cursos de graduação na Universidade Federal de Uberlândia serão apresentadas na sequência.

#### 3.4.1.1 Modelagem e Simulação

Com a reforma do plano pedagógico do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação que começou a ser implantado a partir de 2010, varias disciplinas de graduação sofreram reformas significativas na definição de suas ementas. Foi o caso em particular da disciplina **Introdução à Teoria das Filas** que foi substituída pela disciplina **Modelagem e Simulação**. O objetivo da nova disciplina era de apresentar as abordagens de simulação usadas para analisar quantitativamente os sistemas, de forma a limitar o conteúdo puramente analítico da disciplina anterior, o qual era baseado principalmente na hipótese Markoviana dos modelos sem memória, que não se aplica facilmente a sistemas que envelhecem.

- Objetivos: introduzir a problemática dos processos estocásticos com ênfase nos modelos de filas e de simulação.
- Ementa: cadeias de Markov; processo de Poisson; distribuição exponencial; processo de Nascimento e Morte; introdução aos principais modelos de filas de espera (notação de Kendall); exemplo de sistemas representados por modelos de filas. Aplicação da simulação em Computação.

- Bibliografia principal: *Probability and Random Processes: A First Course with Applications* de Bruce Clarke e Ralph Disney (CLARKE; DISNEY, 1985); *Computer Networks and Systems - Queueing theory and Performance Evaluation* de Thomas G. Robertazzi (G.ROBERTAZZI, 2000); *Probability and statistics with reability, queuing and computer science applications* de Kishor S. Trivedi (TRIVEDI, 1982); *Colored Petri nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems* de Kurt Jensen and Lars M. Kristensen (JENSEN; KRISTENSEN, 2009); *Modeling Business Processes: A Petri Net-Oriented Approach (Information Systems)* de Wil M.P. van der Aalst e Christian Stahl (AALST; HEE, 2004); Teoria das Filas e da Simulação de Darci Prado (PRADO, 1999).
- Quantidade média de alunos: 40
- Periodicidade: Desde 2013, eu ministro regularmente (anualmente) a disciplina.
- Relação com meus Temas de Pesquisa: tal disciplina apresenta os fundamentos básicos de modelos estocásticos usados para a representação de problemas clássicos de Filas de espera, os quais são geralmente utilizados para tratar problemas de desempenho e de dimensionamento de recursos em Sistemas de Tempo Real. Desde a minha Tese de Doutorado, um dos assuntos principais das minhas atividades de pesquisa vem sendo o estudo de técnicas de análise qualitativa e quantitativa de sistemas representados por modelos formais derivados das redes de Petri. O modelo teórico apresentado na disciplina que trata das técnicas de simulação corresponde justamente às redes de Petri estocásticas, as quais foram definidas no contexto de uma visão mista que envolve tanto as técnicas de análise tradicionais baseadas em modelos analíticos de Filas quanto os modelos derivados da Teoria das Redes de Petri. É de fato através de um procedimento simples que o modelo de um sistema representado por uma rede de Petri estocástica pode ser transformado numa cadeia Markoviana equivalente e vice-versa.

#### 3.4.1.2 Teoria da Computação

Tal disciplina foi ministrada no curso de Bacharelado em Ciência da Computação.

- Objetivos: Apresentar os fundamentos da Teoria da Computação relevantes para a Ciência da Computação. Em particular, aprofundar conceitos da Teoria da Computação ligados à decidibilidade e à Complexidade.
- Ementa: Recordação dos principais fundamentos de Autômatos e Linguagens; Tese de Church-Turing; Decidibilidade; Complexidade em tempo e espaço; NP-Completo.
- Bibliografia principal: *Introduction to Theory of Computation* de Michael Sipser (SIPSER, 1996); *The Design and Analysis of Computer Algorithms* de Alfred V.

Ano e John E. Hopcroft (AHO; HOPCROFT, 1974); *Introduction to Computer Theory* de Daniel I. A. Cohen (COHEN, 1996).

- ❑ Quantidade média de alunos: 30
- ❑ Periodicidade: Desde 2009, eu ministro regularmente (anualmente) a disciplina.
- ❑ Relação com meus Temas de Pesquisa: Desde a minha Tese de Doutorado, um dos assuntos principais das minhas atividades de pesquisa é o problema de escalonamento de sistemas de produção de bens e serviços. Neste contexto, os problemas encontrados são geralmente classificados na classe de Complexidade NP-Completa das linguagens Recursivas (Decididas por uma Máquina de Turing).

### 3.4.1.3 Linguagens Formais e Autômatos

Tal disciplina foi ministrada no curso de Bacharelado em Ciência da Computação.

- ❑ Objetivos: Dominar as noções de Linguagens Formais e dos grupos de Autômatos Finitos reconhecedores das quatro classes de linguagens: regulares, livres de contexto, sensíveis ao contexto e recursivamente enumeráveis.
- ❑ Ementa: Linguagens, gramáticas e reconhecedores; Hierarquia de Chomsky; Linguagens regulares; Linguagens livres de contexto; Linguagens sensíveis ao contexto; Linguagens recursivamente enumeráveis; Autômatos finitos; Autômatos com pilha; Autômatos limitados linearmente; Maquinas de Turin; Tese de Church-Turin .
- ❑ Bibliografia principal: *Introduction to Theory of Computation* de Michael Sipser (SIPSER, 1996); *Introduction to Automata Theory, Languages and Computation* de John E. Hopcroft e Jeffrey D. Ullman (AHO; HOPCROFT, 1974); Linguagens Formais e Autômatos de Paulo F. B. Menezes (MENEZES, 1997).
- ❑ Quantidade média de alunos: 45
- ❑ Periodicidade: eu ministrei a disciplina em 2013 e 2014.
- ❑ Relação com meus Temas de Pesquisa: existe uma relação direta entre uma rede de Petri (que constitui o modelo central de todas as minhas pesquisas desde o início da minha Tese de Doutorado), que pode ser vista como um tipo de autômato, e a linguagem que ela reconhece.

### 3.4.1.4 Engenharia de Software

Tal disciplina foi ministrada nos cursos de Bacharelado em Ciência da Computação e de Engenharia Mecatrônica.

- ❑ **Objetivos:** discutir conceitos básicos sobre o processo de desenvolvimento de software.
- ❑ **Ementa:** introdução à Engenharia de Software; modelos de especificação de requisitos e de arquiteturas de Software; gestão do processo de desenvolvimento de software; projeto da Interface com o usuário; teste de programas; qualidade de software; MDA; BPEL4WS.
- ❑ **Bibliografia principal:** Engenharia de Software de Roger S. Pressman (PRESSMAN, 1995); Engenharia de Software de Ian Sommerville (SOMMERVILLE, 2000); UML : a Bíblia de Tom Pender (PENDER, 2004).
- ❑ **Quantidade média de alunos:** 45
- ❑ **Periodicidade:** a disciplina foi ministrada em 2011 no curso de Engenharia Mecatrônica e, em 2005 e 2006, no curso de Bacharelado em Ciência da Computação.
- ❑ **Relação com meus Temas de Pesquisa:** tal disciplina apresenta as atividades básicas existentes no processo de desenvolvimento de um software. Durante a minha Tese de Doutorado, eu fiquei envolvido com problemas de especificação de modelos de análise e de arquitetura de Sistemas de Manufatura, em particular no contexto da Engenharia Assistida por Computador (CAE) e da Manufatura Assistida por Computador (CAM). Tais módulos contemplam boa parte das atividades que se encontram no desenvolvimento de software de Sistemas de Tempo Real usados nos Sistemas Mecatrônicos. Atualmente, como integrante do grupo de Engenharia de Software do programa de pós-graduação em Ciência da Computação, desenvolvo vários trabalhos de pesquisa em áreas relacionadas com as principais atividades ligadas ao processo de desenvolvimento de software. Com a valiosa parceria de meus alunos, venho publicado vários trabalhos nas áreas de: modelagem, análise e simulação de processos de negócios; teste funcional de Softwares Orientados a Objetos; abordagens que combinam as notações semi-Formais UML e a notação formal das redes de Petri no contexto do Desenvolvimento de Software Dirigido a Modelos (MDA); modelagem, análise e simulação de requisitos de software no contexto dos Vídeos Games, da Bioinformática e dos Sistemas de Tempo Real.

#### 3.4.1.5 Introdução à Computação

Tal disciplina foi ministrada no contexto do curso de Engenharia Civil.

- ❑ **Objetivos:** analisar e implementar soluções de problemas de ciências exatas com o uso de computadores.

- ❑ Ementa: noções básicas de arquitetura e organização de computadores; desenvolvimento de Algoritmos utilizando técnicas de Programação Estruturada; estruturas básicas de uma linguagem de programação.
- ❑ Bibliografia principal: Algoritmos e Estruturas de Dados de Niklaus Wirth (WIRTH, 1989); Algoritmos : Teoria e Prática de Thomas H. Cormen (CORMEN et al., 2002); introdução à Programação de Anita Lopes e Guto Garcia (LOPES; GARCIA, 2002).
- ❑ Quantidade média de alunos: 60
- ❑ Periodicidade: a disciplina foi ministrada em 2006 e 2007 semestralmente.

#### 3.4.1.6 Programação Procedimental

Tal disciplina foi ministrada no curso de Bacharelado em Ciência da Computação.

- ❑ Objetivos: capacitar o aluno a desenvolver programas em linguagens procedimentais, empregando adequadamente os recursos oferecidos por tais linguagens.
- ❑ Ementa: introdução ao conceito de algoritmo; resolução de problemas utilizando algoritmos; tipos de dados; variáveis e constantes; expressões e operadores; estruturas de controle: estruturas sequenciais, estruturas condicionais e estruturas iterativas e recursivas; estruturas de dados: vetores, matrizes e registros; arquivos; funções.
- ❑ Bibliografia principal: Fundamentos da Programação de Computadores de Ana F.G. Ascencio e Edilene A.V. De Campos (ASCENCIO; CAMPOS, 2008); introdução à Informática de H.L. Capron e J.A. Johnson (CAPRON; JOHNSON, 2004); Algoritmos Estruturados de Harry Farrer et al. (FARRER; AL., 1999).
- ❑ Quantidade média de alunos: 50
- ❑ Periodicidade: a disciplina foi ministrada de 2014 a 2016 semestralmente.

### 3.4.2 Disciplinas ministradas na pós-graduação em Ciência da Computação

Como membro do grupo de Engenharia de Software do programa de pós-graduação em Ciência da Computação, ministrei diversas disciplinas nos cursos de Mestrado e Doutorado, as quais serão apresentadas a seguir.

#### 3.4.2.1 Engenharia de Software

Tal disciplina foi ministrada no curso de Mestrado em Ciência da Computação. Quando o programa de pós-graduação foi implantado em 2001 (com o curso de Mestrado), tal disciplina era parte de um grupo de disciplinas obrigatórias que os alunos precisavam cursar.

- ❑ **Objetivos:** discutir conceitos básicos sobre o processo de desenvolvimento de software.
- ❑ **Ementa:** introdução à Engenharia de Software; modelos de especificação de requisitos e de arquiteturas de software; gestão do processo de desenvolvimento de software; projeto da Interface com o usuário; teste de programas; qualidade de software; métodos formais; projetos de Sistemas de Tempo Real.
- ❑ **Bibliografia principal:** *Engenharia de Software* de Roger S. Pressman (PRESSMAN, 1995); *Engenharia de Software* de Ian Sommerville (SOMMERVILLE, 2000); *Fundamentals of Object-Oriented Design in UML* de Meilir Page-Jones (PAGES-JONES, 1999); *Petri Nets and Grafcet: Tools for Modelling Discrete Event Systems* de René David e Hassane Alla (DAVID; ALLA, 1992).
- ❑ **Quantidade média de alunos:** 25
- ❑ **Periodicidade:** a disciplina foi ministrada de 2001 a 2006 anualmente no curso de Mestrado em Ciência da Computação.
- ❑ **Relação com meus Temas de Pesquisa:** tal disciplina apresenta as atividades básicas existentes no processo de desenvolvimento de um software. Durante a minha Tese de Doutorado, eu fiquei envolvido com problemas de especificação de modelos de análise e de arquitetura de Sistemas de Manufatura, em particular no contexto da Engenharia Assistida por Computador (CAE) e da Manufatura Assistida por Computador (CAM). Tais módulos contemplam boa parte das atividades que se encontram no desenvolvimento de Softwares de Tempo Real. Atualmente, como membro do grupo de Engenharia de Software do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação, desenvolvo vários trabalhos de pesquisa em áreas relacionadas com as atividades principais relativas ao processo de desenvolvimento de software. Diversos trabalhos com meus alunos vêm sendo publicados nas áreas de: modelagem, análise e simulação de processos de negócios; teste Funcional de Softwares Orientados a Objetos; abordagens que combinam as notações semi-formais UML e a notação formal das redes de Petri no contexto do desenvolvimento de Softwares Dirigidos a Modelos (MDA); modelagem, análise e simulação de requisitos de software no contexto dos Vídeos Games, da Bioinformática e dos Sistemas de Tempo Real.

### 3.4.2.2 Modelagem de Software

Tal disciplina foi ministrada no curso de Mestrado em Ciência da Computação, particularmente para alunos do grupo de Engenharia de Software.

- ❑ Objetivos: apresentar os benefícios da modelagem de software no processo de desenvolvimento de software.
- ❑ Ementa: problemas de modelagem de software: diversidade de artefatos, dificuldade na formalização de modelos, lacuna semântica entre requisitos e implementação; diagramas estruturados, UML, notações formais.
- ❑ Bibliografia principal: Engenharia de Software de Roger S. Pressman (PRESSMAN, 1995); Engenharia de Software de Ian Sommerville (SOMMERVILLE, 2000); UML : a Bíblia de Tom Pender (PENDER, 2004); *Workflow Management: Models, Methods, and Systems* de Wil M.P. van der Aalst e Kees van Hee (AALST; HEE, 2004); *Petri Nets and Grafcet: Tools for Modelling Discrete Event Systems* de René David e Hassane Alla (DAVID; ALLA, 1992).
- ❑ Quantidade média de alunos: 25
- ❑ Periodicidade: a disciplina foi ministrada em 2008 e 2009.
- ❑ Relação com meus Temas de Pesquisa: tal disciplina apresenta as atividades básicas de modelagem (formal e semi-formal) que existem no processo de desenvolvimento de um software. Durante a minha Tese de Doutorado, eu fiquei envolvido com problemas de especificação de modelos de análise e de arquitetura de Sistemas de Tempo Real, usando em particular técnicas de especificação formal baseadas em redes de Petri. Em minha atuação em Engenharia de Software, venho desenvolvendo vários trabalhos de pesquisa em áreas relacionadas com o problema de especificação de requisito e de arquitetura de software. Vários trabalhos com meus alunos foram publicados em áreas como: modelagem e análise de processos de negócios baseadas em Workflow net e Lógica Linear; Teste Funcional de Softwares Orientados a Objetos baseado em diagramas de UML e nas Redes de Petri a Objetos; abordagens que combinam as notações semi-formais UML e a notação formal das redes de Petri no contexto do Desenvolvimento de Software Dirigido a Modelos (MDA); modelagem e análise de Vídeos Games baseadas nas redes de Petri, nos grafos e na Lógica Linear.

### 3.4.2.3 Redes de Petri

Tal disciplina foi ministrada no curso de Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação.

- ❑ Objetivos: apresentar os fundamentos da teoria das Redes de Petri usados para a modelagem e análise de Sistemas a Eventos Discretos.
- ❑ Ementa: Classificação dos sistemas; definição das redes de Petri autônomas; definição das boas propriedades (limitabilidade, vivacidade, reiniciabilidade etc.); de-

finição das propriedades estruturais (componentes conservativos e repetitivos); algoritmos de análise de propriedades (por enumeração das marcações; baseados em resultados de álgebra linear; por redução do modelo); definição das redes de Petri interpretadas, temporizadas, estocásticas e Coloridas (ferramenta CPN Tools).

- Bibliografia principal: Redes de Petri de Janette Cardoso e Robert Valette (CARDOSO; VALETTE, 1997); *Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets* de René David e Hassane Alla (DAVID; ALLA, 2010); *Coloured Petri nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems* de Kurt Jensen (JENSEN; KRISTENSEN, 2009); *Workflow Management: Models, Methods, and Systems* de Wil M.P. van der Aalst e Kees van Hee (AALST; HEE, 2004); *Petri Nets and Grafcet: Tools for Modelling Discrete Event Systems* de René David e Hassane Alla (DAVID; ALLA, 1992).
- Quantidade média de alunos: 15
- Periodicidade: desde 2014 a disciplina é ministrada anualmente.
- Relação com meus Temas de Pesquisa: a Teoria das Redes de Petri representa o tema central das minhas atividades de pesquisa desde a época do meu Doutorado. A disciplina é ministrada em particular para os alunos que eu oriento (alunos de Mestrado e Doutorado), os quais precisam de conhecimento básico sobre as redes de Petri durante o desenvolvimento de suas atividades de pesquisa.



---

## Atividades Acadêmicas Gerais

### 4.1 Introdução

O presente capítulo lista as modalidades principais das atividades que venho exercendo no meio acadêmico. Tais dados foram resumidos a partir do Curriculum Lattes.

### 4.2 Apresentação de Mini-Curso em Evento Científico

Mini-Curso apresentado no XII Congresso Brasileiro de Automática (CBA):

- ❑ Título: Da concepção ao controle em tempo real de sistemas flexíveis de manufatura usando as Redes de Petri.
- ❑ : Local: Uberlândia - MG (Brasil).
- ❑ : Ano: 1998.

### 4.3 Apresentação de Palestra em evento acadêmico internacional

Palestra apresentada em Colóquio Acadêmico Internacional:

- ❑ Título: Formal Methods in Software Engineering: Petri nets.
- ❑ Local: University of Applied Sciences Hamm-Lippstadt - Lippstadt, Germany.
- ❑ Ano: 2019.

## 4.4 Apresentação Oral de Artigos em Conferências Científicas

- ❑ Análise sob restrições baseadas em Redes de Petri de uma célula flexível de manufatura. Evento: Segundo Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Ano: 1995. Local: Curitiba-PR (Brasil).
- ❑ Analysis of manufacturing cell under a set of cyclic constraints. Evento: 38TH Midwest Symposium on Circuits and Systems (IEEE Circuits and Systems). Ano: 1995. Local: Rio de Janeiro - RJ (Brasil).
- ❑ Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando-se um jogador de Rede de Petri. Evento: XII Congresso Brasileiro de Automática. Ano: 1998. Local: Uberlândia-MG (Brasil).
- ❑ Scheduling flexible manufacturing cells using a token player algorithm. Evento: 5TH IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems. Ano: 1998. Local: Gramado-RS (Brasil).

## 4.5 Consultor Ad-Hoc dos Órgãos de Fomento para Avaliação de Projetos de Pesquisa e Extensão

- ❑ Consultor FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco), a partir de 2012.
- ❑ Consultor CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), a partir de 2015.
- ❑ Consultor PIBIC/CNPq/UFU (Iniciação Científica), a partir de 2016.

## 4.6 Participação em Bancas de Doutorado

- ❑ Composição: SILVA, F. O.; JULIA, S.; FRANZLE, M.; SAUER, J.; PEREIRA, C. E.; SOARES, Michel dos Santos. Aluna: Fabíola Gonçalves Coelho Ribeiro. Título: Multi-formalism in different levels of abstraction for requirements engineering and design of real-time and embedded systems. Ano: 2019. Área: Ciência da Computação. Local: Oldenbourg (Germany) - Cotutela com a Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: MAIA, M.A.; SILVA, F.O.; FERRARI, F.C.; MURTA, L.G.P.; JULIA, S. Título: On Benchmarks Of Bugs For Studies In Automac Program Repair.

Ano: 2019. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Composição: JULIA, R. M. S.; JULIA, S.; LOPES, Carlos Roberto; FERNANDES, Márcia Aparecida; SILVA, José Reinaldo; GAMA, J. M. P. Aluno: Clarimundo Machado Moraes Júnior. Título: Uma abordagem para avaliar o desempenho de algoritmos baseada em simulações automáticas de modelos de redes de Petri coloridas hierárquicas. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: OLIVEIRA, G. M. B.; SOUZA, J. R.; JULIA, S; ROMERO, R. A. F.; VARGAS, P. A. Aluna: Danielli Araújo Lima. Título: Autômatos Celulares e Sistemas Bio-Inspirados aplicados ao controle inteligente de robôs. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; FERNANDES, Márcia Aparecida; MALAQUIAS, F. F. O.; PASSOS, L. M. S.; LUDERS, R. Aluna: Joslaine Cristina Jeske de Freitas. Título: Modelagem e simulação de sistemas de gerenciamento de processos de negócios baseadas em Workflow net temporais com mecanismos de alocação de recursos híbridos Fuzzy. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; LOPES, Carlos Roberto; MALAQUIAS, F. F. O.; MIYAGI, Paulo Eigi; LUDERS, R.; MALUCELLI, J. Aluna: Leiliane Pereira Rezende. Título: Workflow net possibilística aplicada aos sistemas de gerenciamento de processos de negócios flexíveis. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; LOPES, Carlos Roberto; MIYAGI, Paulo Eigi; Villani, E. Aluna: Lígia Maria Soares Passos. Título: Uma metodologia baseada na lógica linear para análise de processos de workflow interorganizacionais. Ano: 2016. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; MIYAGI, Paulo Eigi; ARAKAKI, Reginaldo; VALETTE, Robert Jean; PORTO, Arthur José Vieira. Aluna: Emília Villani. Título: Modelagem e análise de sistemas supervisórios híbridos. Ano: 2004. Área: Engenharia Mecânica. Local: Universidade de São Paulo.
- ❑ Composição: JULIA, S.; MENDES, R. S.; CURY, J. E. R.; FERREIRA, P. A. V.; PERES, P. L. D.; AMARAL, W. C. Aluno: Ricardo Lüders. Título: Controle Multivariável de sistemas a eventos discretos em dióides. Ano: 2001. Área: Engenharia Elétrica. Local: Universidade Estadual de Campinas.

## 4.7 Participação em Bancas de Qualificação de Doutorado

- ❑ Composição: JULIA, S.; ROSA, P.F.; SILVA, J.R. Aluna: Kênia Santos de Oliveira. Título: Cálculo dos Sequentes da Lógica Linear aplicado às WorkFlow nets para a Verificação de Requisitos Funcionais e não Funcionais em Arquiteturas Orientadas a Serviços. Ano: 2019. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: SOARES, Michel dos Santos; JULIA, S.; PEREIRA, C. E.; WEHRMEISTER, M. A. Aluna: Fabíola Gonçalves Coelho Ribeiro. Título: Multi-Formalism in different levels of abstraction for requirements engineering and design of Real-Time and Embedded Systems. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; FERNANDES, Márcia Aparecida; LUDERS, R. Aluna: Joslaine Cristina Jeske de Freitas. Título: Dimensionamento e gerenciamento de workflow net com recursos usando redes de Petri híbridas fuzzy. Ano: 2016. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; LOPES, Carlos Roberto; MIYAGI, Paulo Eigi. Aluna: Leiliane Pereira de Rezende. Título: Workflow net possibilística aplicada aos sistemas de gerenciamento de processos de negócios flexíveis. Ano: 2016. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; ROSA, Pedro Frosi; CURY, J. E. R. Aluna: Lígia Maria Soares Passos. Título: Uma metodologia baseada na lógica linear para verificação de processos de workflow interorganizacionais. Ano: 2015. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; JULIA, R. M. S.; LOPES, Carlos Roberto; SILVA, José Reinaldo. Aluno: Clarimundo Machado Moraes Júnior. Título: Modelagem e análise de algoritmos baseadas em redes de Petri coloridas e hierárquicas. Ano: 2015. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

## 4.8 Participação em Bancas de Mestrado

- ❑ Composição: JULIA, S; PASSOS, L. M. S.; LOPES, Carlos Roberto; Villani, E. Aluno: Vinicius Ferreira de Oliveira. Título: Uma regra de sincronização baseada na lógica linear para prevenção de deadlock em workflow nets interorganizacionais. Ano: 2017. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Composição: JUNIOR, R. M.; MAIA, Marcelo Almeida; MACEDO, Autran; MACIEL, P. R. M.; JULIA, S. Aluna: Nathália Assis Valentim. Título: Envelhecimento e rejuvenescimento de Software: 20 anos - panorama e desafios. Ano: 2016. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: MAIA, M. A.; SONG, M. A. J.; JULIA, S. Aluno: Cláudio Ribeiro de Sousa. Título: Construção de um classificador automático de severidade de bugs para sistemas open source. Ano: 2016. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: MAIA, M.A.; FIGUEIRA FILHO, F. M.; JULIA, S. Aluno: Eduardo Cunha Campos. Título: Recomendação de conhecimento da multidão para auxílio ao desenvolvimento de software. Ano: 2015. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; MACEDO, Autran; CURY, J. E. R. Aluna: Franciny Medeiros Barreto. Título: Modelagem e análise de video games baseadas em workflow nets e grafos de estado. Ano: 2015. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: MACÊDO, Autran; JUNIOR, R. M.; SONG, M. A. J.; JULIA, S. Aluna: Joicymara Santos Xavier. Título: Engenharia de confiabilidade de Software: um mapeamento sistemático. Ano: 2015. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; LOPES, Carlos Roberto; DOREA, C. E. T. Aluna: Luciane de Fátima Silva. Título: Detecção e correção de situações de deadlock em workflow nets interorganizacionais. Ano: 2014. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; MIYAGI, Paulo Eigi; OLIVEIRA, Malaquias, F. F. Aluna: Leiliane Pereira de Rezende. Título: Workflow net possibilística para problemas de não conformidade em processos de negócios. Ano: 2013. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; SILVA, José Reinaldo; SOARES, Michel dos Santos. Aluno: Guilherme William de Oliveira. Título: Modelagem e Análise de Vídeo-game usando as Workflow nets e a Lógica Linear. Ano: 2012. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: SOARES, Michel dos Santos; JULIA, S; COSTA, H. A. X. Aluno: Augusto Silvestre. Modelagem de software de tempo real utilizando o profile Marte da UML. Ano: 2012. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: MAIA, M.A.; JULIA, S.; FIGUEIREDO, E. M. L. Aluna: Raquel Fialho de Queiroz Lafetá. Título: O impacto do uso de rastros de execução em

atividades de localização de características de software: um experimento controlado. Ano: 2011. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Composição: MAIA, M. A.; VALENTE, M. T. O.; JULIA, S. Aluno: Klérisson Vinícius Ribeiro da Paixão. Título: Alinhamento de rastros de execução de programas para compreensão de pontos de variação em código-fonte. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; VILLANI, E.; MAIA, M. A. Aluna: Liliane do Nascimento Vale. Título: Especificação de testes funcionais usando Redes de Petri a objetos para Softwares Orientados a Objetos. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; VILLANI, E.; MAIA, Marcello; LOPES, Carlos Roberto. Aluna: Lígia Maria Soares Passos. Título: Formalização de workflow nets utilizando Lógica Linear: análise qualitativa e quantitativa. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: MAIA, M.A.; SILVA, I. R.; JULIA, S.; SONG, M. A. J. Aluno: Felipe Cezar de Castro Antunes. Título: Recuperação de visao estrutural de software combinando analise semântica estática e latente. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; LOPES, Carlos Roberto; JUNIOR, O. M. Aluno: Flavio Felix Medeiros. Título: Analise sob restricoes baseada em um raciocínio energético para o problema de escalonamento tempo real de sistemas de gerenciamento de Workflow. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: MAIA, M. A.; BIGONHA, R. S.; JULIA, S. Aluno: Victor Sobreira. Título: Uma abordagem para compreensão de programas baseada na localização de características em código fonte. Ano: 2008. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; LUDERS, R.; BARCELOS, C. A. Z. Aluna: Michele Nasu Tomiyama. Título: Modelagem e Simulação de Processos Biológicos usando Redes de Petri Predicado Transição Diferenciais. Ano: 2007. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; JUNIOR, O.M.; KATO, E. R. R.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Aluna: Ana Claudia Deriz. Título: Um método de busca usando algoritmo genético para programação reativa da produção de sistemas de manufatura com recursos compartilhados. Ano: 2007. Local: Universidade Federal de São Carlos.

- ❑ Composição: CAMPOS, S. V. A.; SILVA, I. R.; JULIA, S.; MACEDO, Autan. Aluno: Rogério Sousa e Silva. Título: Distribuição de tarefas em sistemas de Workflow por meio da seleção induzida de recursos. Ano: 2007. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
  
- ❑ Composição: JULIA, S.; LUDERS, R.; SOUZA, J. N. Aluna: Joslaine Cristina Jeske. Título: Mecanismo de alocação de recursos fuzzy para sistemas de gerenciamento de workflow. Ano: 2006. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
  
- ❑ Composição: JULIA, S.; SILVA, José Reinaldo; MACÊDO, Autran. Aluna: Fernanda Francielle de Oliveira. Título: Problema do escalonamento em tempo real dos sistemas de gerenciamento de workflow baseado em um modelo de rede de Petri híbrida p-temporal. Ano: 2005. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
  
- ❑ Composição: JULIA, S.; LOPES, Carlos Roberto; WAINER, J. Aluno: Jony Teixeira de Melo. Título: Workflow com técnicas de planejamento apoiado em Inteligência Artificial. Ano: 2005. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
  
- ❑ Composição: JULIA, S.; KÜNZLE, Luis Allan; MACÊDO, Autran. Aluno: Michel dos Santos Soares. Título: Uma abordagem baseada num jogador de redes de Petri p-temporal e no cálculo de sequentes da lógica linear para a verificação de cenários de sistemas tempo real especificados através de diagramas dinâmicos da UML. Ano: 2004. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
  
- ❑ Composição: JULIA, S.; ROSA, Pedro Frosi; MIYAGI, Paulo Eigi. Aluna: Elisângela Mieko Kanacilo. Título: Uma abordagem para verificação de cenários de sistemas tempo real, baseada em diagramas dinâmicos UML e em um jogador de redes de Petri. Ano: 2003. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
  
- ❑ Composição: JULIA, S.; WILLRICH, Roberto; LOPES, Carlos Roberto. Aluno: Sílvio Bacalá Júnior. Título: Arquitetura de software baseada numa abordagem UML/Redes de Petri com prevenção de bloqueio mortal em sistemas de tempo real. Ano: 2003. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
  
- ❑ Composição: JULIA, S. et al. Aluno: Clarimundo Machado Moraes Júnior. Título: Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando uma Rede de Petri p-temporal t-temporizada com mecanismo de retrocesso inteligente. Ano: 2000. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

## 4.9 Participação em Bancas de Qualificação de Mestrado

- ❑ Composição: JUNIOR, Aleardo Manacero; JULIA, S.; GUIDO, R. C. Aluna: Fernanda Fernandes Peronaglio. Título: Modelagem e simulação de relações entre tarefas computacionais de tempo-real usando interfaces gráficas. Ano: 2018. Local: Universidade Estadual Paulista.

## 4.10 Participação em Bancas de Trabalho de Conclusão de Graduação

- ❑ Composição: JULIA, S.; FERNANDES, M. A.; MIANI, R. S. Aluna: Lorena Rodrigues Bruno. Título: Uma abordagem para Modelagem e Simulação de processos de negocio baseada nas redes de Petri estocásticas e redes de Petri contínuas temporizadas. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: TAVARES, J. J. Z. S.; JULIA, S.; SOUSA, A. R. Aluno: Lucas Henriques Silva. Título: Projeto e Implementação de PNRD e PNRD estendida a distancia. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: TAVARES, J. J. Z. S.; FONSECA, J. P. S.; JULIA, S. Aluno: Carlos Eduardo Alves da Silva. Título: Desenvolvimento de bibliotecas para aplicações de PNRD e PNRD invertida embarcadas em Arduíno. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; Anilton Joaquim da Silva; LIMA, M. A. V. Aluno: Frederico Siconetto Noce. Título: Uma abordagem para a modelagem, análise e simulação de processos de negócios interorganizacionais baseada nas Workflow nets e na ferramenta CPN Tools. Ano: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; SOARES, A. S.; LIMA, M.A.V. Aluna: Alana Rocha Santos. Título: Modelagem e Simulação de Processos de Negócios utilizando Redes de Petri Coloridas e o Simulador CPN Tools. Ano: 2015. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JUNIOR, R. M.; SILVA, A.J.; JULIA, S. Aluno: Rodrigo Alves Pacheco. Título: Métodos numéricos para testes de aderência e estimação de parâmetros de distribuições de probabilidade com aplicação para análise de confiabilidade

de sistemas operacionais. Ano: 2015. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Composição: CATTELAN, R. G.; RODRIGUES, C. C.; JULIA, S. Aluno: Renato Luiz Silva Severino Vieira. Título: ELDOC - Gestão de documentos eletrônicos. Ano: 2014. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; JULIA, R. M. S.; PASSOS, L. M. S. Aluna: Raíza Moraes Sousa. Título: Estágio de Consultoria em ALM. Ano: 2012. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; MACEDO, Autran; DOMINGUES, R. G. Aluno: João Leonardo Sacardo Campos. Título: Outsourcing do Azzu. Ano: 2012. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; CAMARGOS, L.J.; LIMA, M. A. V. Aluno: Lucas Marchesoti Franco. Título: Desenvolvimento de Software. Ano: 2011. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; SOARES, A. S.; FARIA, E. R. Aluno: Gabriel Jara Bígio. Título: Homologação de produtos e desenvolvimento de aplicativos. Ano: 2011. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: Junior, R. M.; JULIA, S.; LOPES, Carlos Roberto. Aluna: Joyce Meire da Silva França. Título: Migração do SGPI para Java. Ano: 2011. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: SOARES, Michel dos Santos; SILVA, F. O.; JULIA, S. Aluna: Luciane de Fátima Silva. Título: Estágio de Analista de Qualidade e Teste. Ano: 2011. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JÚNIOR, S. B.; FARIA, E. R.; JULIA, S. Aluno: Raysllan Nascentes Pereira. Título: Realidade Aumentada. Ano: 2011. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: LOPES, Carlos Roberto; SOUZA, J. N.; JULIA, S. Aluno: Cristiano Nunes de Carvalho. Título: Sistema para Automatização de Saque de Dinheiro. Ano: 2010. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: OLIVEIRA, R. C.; JULIA, S.; CATTELAN, R. G. Aluno: Raulcezar Maximiano Figueira Alves. Título: Desenvolvimento de ferramentas de tratamento espacial. Ano: 2009. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Composição: JULIA, R. M. S.; BARBAR, J. S.; JULIA, S. Aluno: Rodrigo Fernando Silva. Título: Portal de gestão VPN. Ano: 2009. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; MAIA, Marcello; COELHO, P. R. S. L. Aluno: Rafael Guersoni Resende. Título: Implementação de vendas de celulares por cartao de creditos como forma de pagamento. Ano: 2009. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: LOPES, Carlos Roberto; JULIA, S.; JUNIOR, R. M. Aluno: Igor Zanatto. Título: Sistema de controle de transporte Ronda. Ano: 2009. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; SILVA, I.R.; FERNANDES, M. A. Aluno: Carlos Eduardo Soares Sabino. Título: Desenvolvimento de um Massive Multiplayer Online Game. Ano: 2009. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S; SOUZA, M. R.; ROSA, Pedro Frosi. Aluno: Gil Victor Teixeira Pinto. Título: Realizações de soluções inovadoras no contexto da relação usuário e administração pública. Ano: 2008. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: FERNANDES, Márcia Aparecida; JULIA, S; PAIVA, J. G. S. Aluno: Felipe Nunes Gaia. Projeto de gestão advocatícia - Voccia. Ano: 2008. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: PACHECO, J. A. A.; ROSA, Pedro Frosi; JULIA, S. Aluno: Humberto Dib Hayashi. Título: Projeto SAP. Ano: 2008. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; LOPES, Carlos Roberto; FERNANDES, Márcia Aparecida. Aluna: Ana Sofia Silva Costa. Título: Manutenção e novos desenvolvimentos dos processos de negócios referentes aos clientes da empresa CTBC. Ano: 2008. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; AMO, Sandra Aparecida de; FERNANDES, Márcia Aparecida. Aluno: Tomaz Rosa Alves. Título: Implantação de uma supervisão sobre a ferramenta ZR2. Ano: 2007. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: AMO, S. A.; FERNANDES, Márcia Aparecida; JULIA, S. Aluno: Saulo Damasceno Borges. Título: Evolução das aplicações planning e chiffrage.

Ano: 2007. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Composição: JULIA, S.; JÚNIOR, S. B.; JULIA, R. M. S. Aluna: Amanda da Costa Caldas. Título: Evolução do Sistema Demonstrativo de Comissões. Ano: 2007. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; JULIA, R. M. S.; FERNANDES, Márcia Aparecida. Aluno: Flávio Roberto Janones de Sousa. Título: Estudo da migração de uma aplicação SPC no contexto da laminagem a quente. Ano: 2007. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: BARBAR, J. S.; JULIA, S.; SCHNEIDER, S. M. Aluno: Lucas Tiago Rodrigues. Título: Software para controle de painel de instrumentos veicular. Ano: 2007. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; SOUZA, M. R.; SCHNEIDER, Sergio; LACERDA, H. B. Aluno: Daniel Henrique de Oliveira Souza. Título: Desenvolvimento de software para modelagem dinâmica de processos de usinagem. Ano: 2006. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: FERNANDES, Márcia Aparecida; JULIA, R. M. S.; JULIA, S. Aluno: André Luiz Bernardo Ramos. Título: Automatização e integração do processo de troca de informação entre aplicações distintas. Ano: 2006. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; JÚNIOR, S. B.; SILVA, A. J. Aluno: Anderson Andrade Teymeny. Título: Gestão de Contratos. Ano: 2005. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; SILVA, A. J.; JÚNIOR, S.B. Aluno: Leonardo Fraga Pacheco. Título: Gestão de contratos. Ano: 2005. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; FERNANDES, Márcia Aparecida; JÚNIOR, S. B. Aluno: Paulo Roberto de Oliveira. Título: Sistema prestamista. Ano: 2005. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; JULIA, R. M. S.; FERNANDES, Márcia Aparecida. Aluno: Said Ferreira Guimarães. Título: HostFlow. Ano: 2003. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; ROSA, Pedro Frosi; AMO, S. A. Aluna: Larissa Pontes Andrade. Título: Dolphin - DVD Technoloy. Ano: 2003. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Composição: JULIA, S.; et al. Aluno: Elner Rodrigues Ribeiro. Título: Desenvolvimento do Robô de Busca da UFU. Ano: 2002. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; et al. Aluno: Vanin Alves Ferreira. Título: Monografia de graduação. Ano: 2001. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Composição: JULIA, S.; et al. Aluno: Marcos Vinícius Castro Alves. Título: Monografia de graduação. Ano: 2000. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

## 4.11 Revisor de Artigos para Periódicos Científicos

- ❑ Periódico: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part A, Systems and Human. Afiliação: IEEE Society.
- ❑ Periódico: Controle Automação. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Periódico: Ciência Engenharia. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Periódico: Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences. ISSN: 1173-9126.
- ❑ Periódico: International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. ISSN: 0218-1940.
- ❑ Periódico: Journal of Control, Automation and Electrical Systems. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Periódico: International Journal of Natural Computing Research. ISSN: 1947-928X.
- ❑ Periódico: Simulation Modelling Practice and Theory. Afiliação: Elsevier.
- ❑ Periódico: IEEE Systems Journal. Afiliação: IEEE Society.
- ❑ Periódico: Ciência Engenharia. Afiliação: editora da Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Periódico: Information Sciences. Afiliação: Elsevier.
- ❑ Periódico: Journal of Visual Languages and Computing. Afiliação: Elsevier.

## 4.12 Revisor de Artigos para Conferências Científicas

- ❑ Evento: CBA. Ano: 2012. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Evento: CBA. Ano: 2010. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Evento: SBAI. Ano: 2009. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Evento: CBA. Ano: 2006. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Evento: COBEM. Ano: 2005. Afiliação: Sociedade Brasileira de Engenharia Mecânica.
- ❑ Evento: 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. Ano: 2004. Afiliação: IFAC.
- ❑ Evento: COBEM. Ano: 2001. Afiliação: Sociedade Brasileira de Engenharia Mecânica.
- ❑ Evento: Workshop on Formal Methods. Ano: 2000. Afiliação: Sociedade Brasileira de Computação.
- ❑ Evento: CBA. Ano: 2000. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.
- ❑ Evento: CBA. Ano: 1998. Afiliação: Sociedade Brasileira de Automática.

## 4.13 Participação na Elaboração de Planos Pedagógicos

Nas atividades acadêmicas desenvolvidas, participei da elaboração dos seguintes Planos Pedagógicos:

- ❑ Plano Pedagógico do curso de Bacharelado de Ciência da Computação, Currículo 2010-2, que substituiu o Currículo anterior 1097A. Participei, em particular, como membro da comissão para elaboração das partes relacionadas com a Engenharia de Software e com os Métodos Matemáticos em Ciência da Computação;
- ❑ Plano Pedagógico do curso de Doutorado em Ciência da Computação. Participei como membro da comissão do projeto de criação do curso de Doutorado em Ciência da Computação e como membro da comissão de implantação do curso de Doutorado em Ciência da Computação. Na época, integrei, inclusive, o grupo responsável pela elaboração do primeiro Regulamento Interno do Curso.

## 4.14 Atividades Administrativas na Faculdade de Computação e na Universidade Federal de Uberlândia

- ❑ Coordenador do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação desde o mês de Janeiro de 2017. Desde a minha nomeação, participei regularmente das reuniões de Conselho de Graduação da Universidade (CONGRAD), das reuniões de Conselho Superior da Universidade (CONSUM), das reuniões de Conselho da Faculdade de Computação, das reuniões de Colegiado do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação (Presidente) e das reuniões do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação.
- ❑ Membro do Conselho da Faculdade de Computação durante cerca de 7 anos.
- ❑ Membro do Colegiado do programa de pós-graduação do curso de Ciência da Computação (Doutorado e Mestrado) por cerca de 6 anos. No ano de 2013, com a saída do Coordenador do curso por motivo pessoal, eu fiquei um pouco mais de um mês como Coordenador Pro Tempore do programa de pós-graduação. Na ocasião, participei de algumas reuniões do Conselho de Pesquisa de Pós-Graduação (COMPEP).
- ❑ Membro do Colegiado do curso graduação em Matemática (Licenciatura e Bacharelado) por cerca de 2 anos.
- ❑ Representante dos Docentes na Associação dos Docentes da Universidade de Uberlândia (Sindicato ADUFU) durante 1 ano.

## 4.15 Membro de Bancas de Concursos Públicos

- ❑ Participação como Relator em Banca Internacional para “*Full Professor*”. Área: Petri nets. Ano: 2019. Local: Villanova University - Department of Computing Sciences (United States).
- ❑ Participação em Banca de Concurso Público para Professor Efetivo. Área: Ciência da Computação. Ano: 2015. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Participação em Banca de Concurso Público para Professor Efetivo. Área: Ciência da Computação. Ano: 2014. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Participação (Presidente) em Banca de Concurso Público para Professor Efetivo Adjunto. Área: Ciência da Computação. Ano: 2009 . Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Participação (Presidente) em Banca de Concurso Público para Professor Efetivo. Área: Ciência da Computação. Ano: 2008. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Participação (Presidente) em Banca de Concurso Público para Professor Efetivo Adjunto. Área: Ciência da Computação. Ano: 2004. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Participação em todos os processos seletivos semestrais do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação (Doutorado e Mestrado) desde 2001.

## 4.16 Orientações concluídas de Alunos de Doutorado

- ❑ Orientação da Aluna: Joslaine Cristina Jeske de Freitas. Título: Dimensionamento e gerenciamento de workflow net com recursos usando redes de Petri híbridas fuzzy. Defesa: 2016. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Leiliane Pereira de Rezende. Título: Workflow net possibilística aplicada aos sistemas de gerenciamento de processos de negócios flexíveis. Defesa: 2016. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Lígia Maria Soares Passos. Título: Uma metodologia baseada na lógica linear para verificação de processos de workflow interorganizacionais. Defesa: 2015. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Coorientação do Aluno: Clarimundo Machado Moraes Júnior. Título: Modelagem e análise de algoritmos baseadas em redes de Petri coloridas e hierárquicas. Defesa: 2015. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

## 4.17 Orientações concluídas de Alunos de Mestrado

- ❑ Orientação do Aluno: Vinicius Ferreira de Oliveira. Título: Uma regra de sincronização baseada na lógica linear para prevenção de deadlock em Workflow nets interorganizacionais. Defesa: 2017. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Franciny Medeiros Barreto. Título: Modelagem e análise de video games baseadas em Workflow nets e grafos de estado. Defesa: 2015. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Orientação da Aluna: Luciane de Fátima Silva. Título: Detecção e correção de situações de deadlock em Workflow nets interorganizacionais. Defesa: 2014. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Leiliane Pereira de Rezende. Título: Workflow net possibilística para problemas de não conformidade em processos de negócios. Defesa: 2013. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Guilherme William de Oliveira. Título: Modelagem e Análise de Vídeo-game usando as Workflow nets e a Lógica Linear. Defesa: 2012. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Liliane do Nascimento Vale. Título: Especificação de testes funcionais usando Redes de Petri a objetos para Softwares Orientados a Objetos. Defesa: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Lígia Maria Soares Passos. Título: Formalização de Workflow nets utilizando Lógica Linear: análise qualitativa e quantitativa. Defesa: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Flavio Felix Medeiros. Título: Analise sob restrições baseada em um raciocínio energético para o problema de escalonamento tempo real de sistemas de gerenciamento de Workflow. Defesa: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Michele Nasu Tomiyama. Título: Modelagem e Simulação de Processos Biológicos usando Redes de Petri Predicado Transição Diferenciais. Defesa: 2007. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Joslaine Cristina Jeske. Título: Mecanismo de alocação de recursos fuzzy para sistemas de gerenciamento de workflow. Defesa: 2006. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Fernanda Francielle de Oliveira. Título: Problema do escalonamento em tempo real dos sistemas de gerenciamento de workflow baseado em um modelo de rede de Petri híbrida p-temporal. Defesa: 2005. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Michel dos Santos Soares. Título: Uma abordagem baseada num jogador de redes de Petri p-temporal e no cálculo de sequentes da lógica linear para a verificação de cenários de sistemas tempo real especificados através de diagramas dinâmicos da UML. Defesa: 2004. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Orientação da Aluna: Elisângela Mieko Kanacilo. Título: Uma abordagem para verificação de cenários de sistemas tempo real, baseada em diagramas dinâmicos UML e em um jogador de redes de Petri. Defesa: 2003. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Sílvio Bacalá Júnior. Título: Arquitetura de software baseada numa abordagem UML/Redes de Petri com prevenção de bloqueio mortal em sistemas de tempo real. Defesa: 2003. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Clarimundo Machado Moraes Júnior. Título: Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando uma Rede de Petri p-temporal t-temporizada com mecanismo de retrocesso inteligente. Defesa: 2000. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

## 4.18 Orientação concluída de Aluno de Iniciação Científica

- ❑ Orientação do Aluno: André Luiz Bernardo Ramos. Título: Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de sistemas tempo real. Ano: 2006. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

## 4.19 Orientações concluídas de Trabalhos de Conclusão de Graduação

- ❑ Orientação da Aluna: Lorena Rodrigues Bruno. Título: Uma abordagem para Modelagem e Simulação de processos de negócio baseada nas redes de Petri estocásticas e redes de Petri contínuas temporizadas. Defesa: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Frederico Siconetto Noce. Título: Uma abordagem para a modelagem, análise e simulação de processos de negócios interorganizacionais baseada nas Workflow nets e na ferramenta CPN Tools. Defesa: 2017. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Alana Rocha Santos. Título: Modelagem e Simulação de Processos de Negócios utilizando Redes de Petri Coloridas e o Simulador CPN Tools. Defesa: 2015. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- ❑ Orientação da Aluna: Raíza Moraes Sousa. Título: Estágio de Consultoria em ALM. Defesa: 2012. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: João Leonardo Sacardo Campos. Título: Outsourcing do Azzu. Defesa: 2012. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Gabriel Jara Bígio. Título: Homologação de produtos e desenvolvimento de aplicativos. Defesa: 2011. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Lucas Marchesoti Franco. Título: Desenvolvimento de Software. Defesa: 2011. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Rafael Guersoni Resende. Título: Implementação de vendas de celulares por cartão de créditos como forma de pagamento. Defesa: 2009. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Carlos Eduardo Soares Sabino. Título: Desenvolvimento de um Massive Multiplayer Online Game. Defesa: 2009. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Gil Victor Teixeira Pinto. Título: Realizações de soluções inovadoras no contexto da relação usuário e administração pública. Defesa: 2008. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação da Aluna: Ana Sofia Silva Costa. Título: Manutenção e novos desenvolvimentos dos processos de negócios referentes aos clientes da empresa CTBC. Defesa: 2008. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Tomaz Rosa Alves. Título: Implantação de uma supervisão sobre a ferramenta ZR2. Defesa: 2007. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Daniel Henrique de Oliveira Souza. Título: Desenvolvimento de software para modelagem dinâmica de processos de usinagem. Defesa: 2006. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Orientação do Aluno: Leonardo Fraga Pacheco. Título: Gestão de contratos. Defesa: 2005. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

- Orientação do Aluno: Paulo Roberto de Oliveira. Título: Sistema prestamista. Defesa: 2005. Área: Ciência da Computação. Local: Universidade Federal de Uberlândia.

## 4.20 Coordenação e Participação em Projetos de Pesquisa e Extensão

### 4.20.1 Participação em Projetos de Pesquisa/Extensão RHAECNPq

Antes de iniciar a minha carreira de Professor Universitário, durante o meu Doutorado, eu fui convidado a participar de dois projetos de Pesquisa/Extensão RHAECNPq.

O Programa de Formação de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas (RHAECNPq) foi criado em 1987, em uma parceria do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O programa RHAECNPq é destinado à inserção de mestres e doutores em empresas privadas, preferencialmente de micro, pequeno e médio porte. O Programa utiliza um conjunto de modalidades de bolsas de fomento tecnológico, especialmente criado para agregar pessoal altamente qualificado em atividades de pesquisa e desenvolvimento (PD) nas empresas, além de formar e capacitar recursos humanos que atuem em projetos de pesquisa aplicada ou de desenvolvimento tecnológico.

Na época, eu não tinha defendido ainda a minha Tese de Doutorado e fui contratado na modalidade de Pesquisador Visitante Estrangeiro.

O primeiro projeto do qual participei foi o Projeto RHAECNPq “Analytice”, no período 1994/1995. O projeto era coordenado pelo Professor Maurizio Tazza da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (antigo CEFET-PR). O objetivo principal do projeto era de introduzir em empresas de manufatura da região Sul do Brasil técnicas de Simulação de Sistemas Flexíveis de Manufatura.

O segundo projeto do qual participei foi o projeto RHAECNPq “Desenvolvimento de um sistema de controle digital segundo o padrão open Firmware”, no período 1996/1997. O projeto era coordenado pela Professora Rita Maria Da Silva Julia, do Departamento de Informática da Universidade Federal de Uberlândia. O objetivo principal do projeto era de propor um sistema baseado no Padrão *Open Firmware* para o desenvolvimento de interfaces independentes de plataforma. O projeto contou com a participação acadêmica da UFU, do LAAS (Laboratoire d’Analyse et d’Architecture des Systèmes de Toulouse, Université Paul Sabatier, França), da UNICAMP e com a participação empresarial da Griffé Vídeo Produção Cinematográfica Ltda, empresa que tinha como principais clientes a Coca-Cola, o Citibank, a Petrobras, o McDonalds, Sustage, O Globo etc.

### 4.20.2 Participação em Projetos de Pesquisa/Extensão como Professor Visitante Estrangeiro

Depois de defender a minha Tese de Doutorado em 1997, consegui ter o meu projeto de Pesquisa intitulado “Controle em Tempo Real de Sistemas Flexíveis de Manufatura” ser selecionado num edital do MEC (Ministério da Educação) para trabalhar na Universidade Federal de Uberlândia na qualidade de Professor/Pesquisador Estrangeiro no período de 1997/2002.

De 1997 a 1999 trabalhei no Departamento de Engenharia Elétrica, ministrando disciplinas e orientando alunos de graduação e de pós-graduação.

De 1999 a 2002 trabalhei no Departamento de Informática onde, além de ministrar disciplina no curso de Bacharelado em Ciência da Computação, participei da criação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Trabalhei também (período de 17/11/1999 a 16/11/2001) como colaborador no Projeto de Extensão “Desenvolvimento SIPAC” (Sistema Integrado de Programação e Administração de CPAs), em convênio com a CTBC TELECOM. O Projeto era coordenado pelo Prof. Pedro Frosi Rosa.

### 4.20.3 Coordenação e Participação em Projetos de Pesquisa Universal FAPEMIG

Depois de me tornar Professor Efetivo na Faculdade de Computação, coordenei dois projetos de Pesquisa Universal FAPEMIG:

- ❑ Título: Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de Sistemas Tempo Real. Período: 2005/2007.
- ❑ Título: Modelagem, análise e monitoramento de processos de negócio flexíveis utilizando as Workflow nets e lógicas não clássicas. Período: 2015/2017.

Também participei no período 2012/2014 do Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG “Modelagem e Análise de Sistemas Distribuídos de Tempo Real Usando MARTE e SysML” coordenado pelo Professor Michel Soares da Faculdade de Computação.

Esses 3 projetos serão apresentados mais em detalhes no próximo capítulo.

## 4.21 Publicações Científicas

A presente seção resume o rol de minhas publicações científicas nos diversos veículos.

### 4.21.1 Publicações em Periódicos Internacionais

Publiquei até o presente momento um total de 9 artigos em Periódicos Internacionais. A seguir são listados os artigos que se encontram no meu Curriculum Lattes.

1. SOARES PASSOS, LÍGIA MARIA ; JULIA, STÉPHANE . Linear Logic as a Tool for Qualitative and Quantitative Analysis of Workow Processes. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, v. 25, p. 1650008, 2016. (PASSOS; JULIA, 2016b)
2. JULIA, S.; Vale, L. N. ; PASSOS, L. M. S. . Functional testing using object workflow nets. *Computing and Informatics*, v. 35, p. 719-743, 2016. (JULIA; VALE; PASSOS, 2016)
3. FREITAS, J. C. J. ; JULIA, S ; REZENDE, L. P. Resource allocation mechanisms and time constraint propagation techniques in fuzzy workflow nets. *Lecture Notes in Business Information Processing*, v. 241, p. 214-235, 2015. (FREITAS; JULIA; REZENDE, 2015b)
4. REZENDE, L. P. ; JULIA, S. Possibilistic workflow net for deadlock avoidance in interorganizational business processes. *Lecture Notes in Business Information Processing*, v. 241, p. 168-191, 2015. (REZENDE; JULIA, 2015b)
5. JULIA, S.; FRANCIELLE, Fernanda ; VALETTE, R. Real time scheduling of workflow management systems based on a p-time Petri net model with hybrid resources. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 16, p. 462-482, 2008. (JULIA; FRANCIELLE; VALETTE, 2008)
6. SOARES, M ; JULIA, S. ; VRANCKEN, J. Real-time scheduling of batch systems using Petri nets and linear logic. *The Journal of Systems and Software*, v. 81, p. 1983-1996, 2008. (SOARES; JULIA; VRANCKEN, 2008)
7. JULIA, S.; JÚNIOR, S. B. Object Oriented Software Architecture Design based on UML/Petri Net approach for deadlock prevention of Real Time Systems. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, v. 5, n.1, p. 67-83, 2005. (JULIA; JÚNIOR, 2005)
8. JULIA, S.; VALETTE, R. Real time scheduling of batch systems. *Simulation Practice and Theory*, p. 307319, 2000. (JULIA; VALETTE, 2000)
9. JULIA, S.; VALETTE, R. Modeling and analysis of a flexible cell under a set of cyclic constraints. *European Journal of Automation. Editions HERMES, Paris.* v. 31, n.8, p. 1275-1296, 1997. (JULIA; VALETTE, 1997)

#### **4.21.2 Publicação de Capítulo de Livro**

Publiquei até o presente momento o capítulo de livro:

1. JULIA, S.; Villani, E. Sistemas de produção híbridos. In: Luis Antonio Aguirre ; Augusto Humberto Bruciapaglia ; Paulo Eigi Miyagi ; Ricardo Hiroshi ; Calseira Takahashi. (Org.). Enciclopédia de automática - Controle e Automação. 1ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008, v. 1, p. 333-357. (JULIA; VILLANI, 2008)

### 4.21.3 Publicações em Congressos Nacionais e Internacionais

Publiquei até o presente momento um total de 60 artigos em Anais de Congressos Internacionais e Nacionais. A seguir são listados os artigos que se encontram no meu Curriculum Lattes.

1. PASSOS, L.M.S.; JULIA, S.; SILVA, F.M. A linear logic based method for deadlock-freeness scenarios monitoring in Web Services Composition. In: IEEE International Conference on Service-Oriented Systems Engineering (SOSE), 2019, San Francisco. p. 77-83. (PASSOS; JULIA; SILVA, 2019)
2. OLIVEIRA, K.S.; JULIA, S. Using symbolic dates of the linear logic to verify performance requirements in SOA models. In: 16th International Conference on Information Technology - New Generations (ITNG 2019), 2019, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing 800. New York City: Springer. p. 191-197. (OLIVEIRA; JULIA, 2019)
3. BARRETO, F. M.; REZENDE, L.P.; JULIA, S. An approach based on possibilistic Workflow nets to model multiplayer video games. In: Information Technology - New Generations, 2018, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2018. v. 738. p. 509-515. (BARRETO; REZENDE; JULIA, 2018)
4. BARRETO, F. M.; FREITAS, J.C.J.; JULIA, S. A timed Petri net model to specify scenarios of video games. In: Information Technology - New Generations, 2018, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2018. v. 738. p. 467-473. (BARRETO; FREITAS; JULIA, 2018)
5. MEDEIROS, F. F.; JULIA, S. Constraint analysis based on energetic reasoning applied to the problem of real time scheduling of workflow management systems. In: ICEIS, 2017, Porto. 19th International Conference on Enterprise Information Systems, 2017. v. 3. p. 373-380. (MEDEIROS; JULIA, 2017)
6. OLIVEIRA, K. S. ; OLIVEIRA, V. F. ; JULIA, S. Using Linear Logic to verify requirement scenarios in SOA models based on Interorganizational Workflow nets relaxed sound. In: ICEIS, 2017, Porto. 19th International Conference on Enterprise Information Systems, 2017. v. 2. p. 254-262. (OLIVEIRA; JULIA, 2017)

7. OLIVEIRA, V. F.; JULIA, S.; PASSOS, L. M. S.; OLIVEIRA, K. S. A Linear Logic based synchronization rule for deadlock prevention in Web service composition. In: ICEIS, 2017, Porto. 19th International Conference on Enterprise Information Systems, 2017. v. 2. p. 316-323. (OLIVEIRA et al., 2017a)
8. OLIVEIRA, V. F.; JULIA, S.; PASSOS, L. M. S.; OLIVEIRA, K. S. A synchronization rule based on linear logic for deadlock prevention in interorganizational workflow nets. In: Information Technology - New Generations, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, Las Vegas. Information Technology - New Generations, 2017. v. 558. p. 929-934. (OLIVEIRA et al., 2017b)
9. OLIVEIRA, K. S.; JULIA, S.; OLIVEIRA, V. F. Requirement Verification in SOA Models based on Interorganizational Workflow Nets and Linear Logic. In: Information Technology - New Generations, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, Las Vegas. Information Technology - New Generations, 2017. v. 558. p. 579-587. (OLIVEIRA; JULIA; OLIVEIRA, 2017)
10. MORAES JÚNIOR, C. M.; JULIA, R. M. S.; JULIA, S.; SILVA, L. F. A new approach to evaluate the complexity function of algorithms based on simulations of hierarchical colored Petri net Models. In: Information Technology New Generations, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, Las Vegas. Information Technology New Generations, 2017. v. 558. p. 555-564. (JÚNIOR et al., 2017)
11. BARRETO, F. M.; JULIA, S. Modeling of Video Games Using Workflow Nets and State Graphs. In: the 31st Brazilian Symposium, 2017, Fortaleza. Proceedings of the 31st Brazilian Symposium on Software Engineering - SBES'17, 2017. p. 261-266. (BARRETO; JULIA, 2017)
12. OLIVEIRA, K. S.; JULIA, S. Using Linear Logic to Verify Requirement Scenarios in Composite Web Service. In: 20th Brazilian Symposium, SBMF 2017, 2017, Recife. Lecture Notes in Computer Science: Formal Methods: Foundations and Applications, 2017. p. 215-232. (OLIVEIRA; OLIVEIRA; JULIA, 2017)
13. FREITAS, J. C. J.; JULIA, S.; REZENDE, L.P. Modeling a fuzzy resource allocation mechanism based on Workflow nets. In: 18th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2016), 2016, Rome. Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems, 2016. v. 2. p. 559-566. (FREITAS; JULIA; REZENDE, 2016)
14. FREITAS, J. C. J.; JULIA, S. Fuzzy Resource-Constraint Time Workflow Nets. In: 13th International Conference on Information Technology, 2016, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing. Switzerland: Springer, 2016. v. 448. p. 543-554. (FREITAS; JULIA, 2016)

15. REZENDE, L. P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Uncertain Marking for dealing with partial parallelization in Business Processes. In: 18th International Conference on Enterprise information Systems (ICEIS 2016), 2016, Rome. Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise information Systems (ICEIS 2016), 2016. v. 2. p. 118-125. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2016b)
16. REZENDE, L. P.; JULIA, S. ; CARDOSO, J. Possibilistic Workflow nets for dealing with cancellation regions in Business Processes. In: 18th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2016), 2016, Rome. Proceedings of the 18th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2016), 2016. v. 2. p. 126-133. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2016a)
17. PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Linear logic as a Tool for weak soundness verification for interorganizational workflow processes. In: 2016 IEEE 28th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2016, San Jose. ICTAI 2016, 2016. p. 514-521. (PASSOS; JULIA, 2016c)
18. PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Deadlock-freeness scenarios detection in Web service composition. In: International Conference on Information Technology, 2015, Las Vegas. 2015 12th International Conference on Information Technology - New Generations, 2016. p. 780-783. (PASSOS; JULIA, 2016a)
19. MORAES JÚNIOR, C. M.; JULIA, R. M. S.; JULIA, S. Modeling Recursive Search Algorithms by means of Hierarchical Colored Petri nets and CPN Tools. In: International Conference on Information Technology, 2015, Las Vegas. 2015 12th International Conference on Information Technology - New Generations, 2015. p. 788-791. (JÚNIOR; JULIA; JULIA, 2015)
20. FREITAS, J. C. J.; JULIA, S. Fuzzy Time Constraint propagation mechanism for Workflow nets. In: International Conference on Information Technology, 2015, Las Vegas. 2015 12th International Conference on Information Technology - New Generations, 2015. p. 367-372. (FREITAS; JULIA, 2015)
21. REZENDE, L.P.; JULIA, S. Deadlock avoidance in interorganizational business processes using a possibilistic workflow net. In: ICEIS 2015, 2015, Barcelona. 17th international conference on enterprise information systems, 2015. v. 1. p. 429-439. (Best Student Paper Award, 17th International Conference on Enterprise Information Systems). (REZENDE; JULIA, 2015a)
22. FREITAS, J. C. J.; JULIA, S.; REZENDE, L. P. Fuzzy resource allocation mechanisms in workflow nets. In: ICEIS 2015, 2015, Barcelona. 17th international conference on enterprise information systems, 2015. v. 1. p. 471-478. (FREITAS; JULIA, 2015)

23. PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Relaxed soundness verification for interorganizational workflow processes. In: ICEIS 2015, 2015, Barcelona. 17th international conference on enterprise information systems, 2015. v. 3. p. 221228. (PASSOS; JULIA, 2015b)
24. BARRETO, F. M.; JESKE, Joslaine Cristina; SOARES, Michel dos Santos; JULIA, S. A Straightforward Introduction to Formal Methods Using Coloured Petri Nets. In: 16th International Conference on Enterprise Information Systems, 2014, Lisbon. ICEIS 2014 - 16th international conference on enterprise information systems, 2014. p. 145-152. (BARRETO et al., 2014)
25. REZENDE, L. P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Possibilistic interorganizational Workflow net for the recovery problem concerning communication failures. In: ICEIS 2014 - 16th International Conference on Enterprise Information Systems, 2014, Lisbon. ICEIS 2014 - 16th international conference on enterprise information systems, 2014. p. 432-439. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2014)
26. PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Linear Logic as a tool for deadlock-freeness scenarios detection in interorganizational workflow processes. In: 2014 IEEE 26th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2014, Limassol - Cyprus. 2014 IEEE 26th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2014. p. 316-320. (PASSOS; JULIA, 2014)
27. BARRETO, F. M.; JULIA, S. Modeling and analysis of video games based on Workflow nets and State Graphs. In: CASCON, 2014, Toronto. CASCON 2014, 2014. (BARRETO; JULIA, 2014)
28. PASSOS, L. M. S.; MAGALHAES JUNIOR, T. A.; MAIA, M. A.; JULIA, S. Verification of workflow specifications in UML using automated transformations to WF-nets. In: IX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2013, João Pessoa. SBSI 2013, 2013. v. 1. p. 674-685. (PASSOS et al., 2013)
29. SILVA, L. F.; PASSOS, L. M. S.; SOARES, M.; JULIA, S. Siphon-Based deadlock prevention policy for interorganizational workflow net design. In: IEEE IRI, 2013, San Francisco. IEEE IRI 2013, 2013. v. 1. p. 293-300. (SILVA et al., 2013)
30. PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Qualitative Analysis of interorganizational workflow nets using linear logic: soundness verification. In: 2013 IEEE 25th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2013, Washington. 2013 IEEE 25th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2013. v. 1. p. 667-673. (PASSOS; JULIA, 2013)
31. REZENDE, L. P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Possibilistic Workflow nets to deal with non-conformance in process execution. In: IEEE International Conference on

- Systems, Man, and Cybernetics, 2012, Seul. 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2012. p. 1219-1224. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2014)
32. REZENDE, L. P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Inconsistency recovery in business processes using a possibilistic workflow net. In: International Conference of the Chilean computer science society, 2012, Valparaiso. 2012 International Conference of the Chilean computer science society, 2012. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2012a)
  33. OLIVEIRA, G. W.; JULIA, S.; PASSOS, L. M. S. Game Modeling using Workflow nets. In: 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2011, Anchorage. 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2011. p. 838-843. (OLIVEIRA; JULIA; PASSOS, 2011)
  34. JESKE, Joslaine Cristina; JULIA, S.; VALETTE, R. A model to represent human behavior in workflow management systems.. In: ICNPAA 2010 World Congress: 8th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, 2010, São José dos Campos, Brazil. ICNPAA 2010 World Congress: 8th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, 2010. p. 385-392. (JESKE; JULIA; VALETTE, 2010)
  35. VALE, L. N.; SILVA, N., R.; DIAS, M. S.; JULIA, S. Simulation of Industrial Metabolism using Predicate Transition Petri Nets combined with Differential equations. In: ICNPAA 2010 World Congress: 8th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, 2010, São José dos Campos, Brazil. ICNPAA 2010 World Congress: 8th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, 2010. p. 551-559. (VALE et al., 2010)
  36. PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Análise qualitativa e quantitativa de Workflow nets utilizando Lógica Linear. In: V Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2009, Brasília. V Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2009. p. 24-36. (PASSOS; JULIA, 2009a)
  37. MEDEIROS, F. F.; JULIA, S. Análise sob restrições baseada em um raciocínio energético para o problema de escalonamento tempo real de sistemas de gerenciamento de Workflow. In: IX SBAI, 2009, Brasília. Anais do IX SBAI, 2009. (MEDEIROS; JULIA, 2009)
  38. JESKE, Joslaine Cristina; JULIA, S.; VALETTE, R. Fuzzy Continuous Resource Allocation Mechanisms in Workflow Management. In: 2009 XXIII Brazilian Sympo-

- sium on Software Engineering, 2009, Fortaleza. 2009 XXIII Brazilian Symposium on Software Engineering, 2009. (JESKE; JULIA; VALETTE, 2009)
39. PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Qualitative Analysis of WorkFlow nets using Linear. In: 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2009, San Antonio, TX, USA. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2009. p. 2922-2926. (PASSOS; JULIA, 2009b)
40. TOMIYAMA, M. N.; JULIA, S. Modelling Biological Process using Differential Predicate Transition Petri Nets. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007, Montreal. 2007 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007. (TOMIYAMA; JULIA, 2007)
41. RAMOS, A. L. B.; JULIA, S. Fuzzy Token Player: Ferramenta de simulação de Sistemas de Gerenciamento de Workflow. In: XXI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, 2007, João Pessoa - PB. XXI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software - XIV Sessão de Ferramentas, 2007. v. 1. p. 33-39. (RAMOS; JULIA, 2007)
42. JESKE, Joslaine Cristina; JULIA, S.; VALETTE, R. Fuzzy continuous resource allocation mechanisms in workflow management systems. In: The 2006 IEEE International Conference on Information reuse and integration, 2006, Hawaii. The 2006 IEEE International Conference on Information reuse and integration, 2006. p. 472-477. (JESKE; JULIA; VALETTE, 2006)
43. FRANCIELLE, Fernanda; JULIA, S. Software architecture for the real time scheduling of workflow management systems based on a Petri net model. In: XX Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, 2006, Florianópolis. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software. São Paulo: Editória Universitária da Universidade de São Paulo, 2006. p. 1-16. (FRANCIELLE; JULIA, 2006)
44. JULIA, S.; SOARES, Michel dos Santos. Centralized architecture for real time scheduling of batch systems. In: 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 2004, Salvador da Bahia. INCOM 2004, 2004. (JULIA; SOARES, 2004)
45. JULIA, S.; FRANCIELLE, Fernanda. A p-time hybrid Petri net model for the scheduling problem of Workflow Management Systems. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004, The Hague. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004. p. 4947-4952. (JULIA; FRANCIELLE, 2004)

46. JULIA, S.; BACALA JUNIOR, Sílvio. Object Oriented Software Architecture Design based on UML/Petri Net approach for deadlock prevention of Real Time Systems. In: International Conference on Computer Science, Software Engineering, Information Technology, e-Business, and Applications (CSITeA'03), 2003, Rio de Janeiro. CSITeA'03, 2003. v. 1. p. 60-65. (JULIA; JÚNIOR, 2003)
47. JULIA, S.; SOARES, Michel dos Santos. Verification of real time UML specifications through a specialized inference mechanism based on a token player algorithm and the sequent calculus of linear logic. In: 15th European Simulation Symposium (ESS 2003), 2003, Delft. Simulation in Industry, 2003. v. 1. p. 65-70. (JULIA; SOARES, 2003)
48. JULIA, S.; KANACILO, Elisângela M. An UML/Petri Net approach for scenario verification of Real Time Systems.. In: Brazilian Petri Net Meeting, 2002, Natal. Brazilian Petri Net Meeting, 2002. (JULIA; KANACILO, 2002b)
49. JULIA, S.; KANACILO, Elisângela Mieko. An approach based on dynamic UML diagrams and on a token player algorithm for the scenario verification of Real Time Systems.. In: 14TH European Simulation Symposium, 2002, Dresden. Simulation in Industry, 2002. p. 377-381. (JULIA; KANACILO, 2002a)
50. JULIA, S.; MORAES JÚNIOR, C. M. Scheduling Batch Systems Using a Petri Net Model and an Intelligent backtrack mechanism. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2000, Nashville. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2000. p. 3110-3115. (JULIA; JÚNIOR, 2000)
51. JULIA, S.; VALETTE, R. Simulation en Temps Réel pour l'aide au Pilotage des Systèmes Hybrides. In: Deuxième Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, 1999, Annecy. MOSIM'99, 1999. p. 285-290. (JULIA; VALETTE, 1999)
52. JULIA, S.; MORAES JÚNIOR, C. M. Escalonamento de sistemas de produção por lotes usando-se um mecanismo de retrocesso inteligente. In: Quarto Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 1999, São Paulo. 4 SBAI, 1999. p. 521-526. (JULIA; JÚNIOR, 1999)
53. JULIA, S.; VALETTE, R.; FERNANDES, J. M. Scheduling Batch Systems using a token player algorithm. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1998, San Diego. SMC'98 Conference Proceedings, 1998. p. 487-492. (JULIA; VALETTE; FERNANDES, 1998)
54. JULIA, S. Scheduling flexible manufacturing cells using a token player algorithm. In: 5TH IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, 1998, Gramado. IFAC Proceedings Volume, 1998. p. 193-198. (JULIA, 1998b)

55. JULIA, S.; VALETTE, R.; MORAES JÚNIOR, C. M.; FERNANDES, J. M. Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando-se um jogador de Rede de Petri. In: XII Congresso Brasileiro de Automática, 1998, Uberlândia. XII Congresso Brasileiro de Automática, 1998. p. 397-402. (JULIA et al., 1998)
56. JULIA, S. Mini-Curso : Da concepção ao controle em tempo real de sistemas flexíveis de manufatura usando as Redes de Petri. In: XII Congresso Brasileiro de Automática, 1998, Uberlândia. Mini Cursos do XII CBA, 1998. v. 1. p. 1-35. (JULIA, 1998a)
57. JULIA, S.; VALETTE, R.; TAZZA, M. Computing a feasible schedule under a set of cyclical constraints. In: Second International Conference on Industrial Automation, 1995, Nancy. Second International Conference on Industrial Automation, 1995. v. 1. p. 141-146. (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1995b)
58. JULIA, S.; VALETTE, R.; TAZZA, M. Analysis of manufacturing cell under a set of cyclic constraints. In: 38TH Midwest Symposium on Circuits and Systems, 1995, Rio de Janeiro. 38TH Midwest Symposium on Circuits and Systems, 1995. v. 1. p. 23-26. (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1995a)
59. JULIA, S.; VALETTE, R.; JULIA, R. M. S. Análise sob restrições baseadas em Redes de Petri de uma célula flexível de manufatura. In: Segundo Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 1995, Curitiba. Segundo Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 1995. p. 243-248. (JULIA; VALETTE; JULIA, 1995)
60. JULIA, S.; VALETTE, R.; TAZZA, M. Analysis of the behavior of a manufacturing cell with cyclic feeding policies. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1994, San Antonio. 1994 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1994. v. 2. p. 1683-1688. (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1994)



---

## Pesquisa

### 5.1 Pesquisa no Âmbito do Doutorado

#### 5.1.1 Introdução

No período 1992/1993, fui introduzido à pesquisa científica com um trabalho sobre o estudo do “Movimento em Tempo Mínimo dos Robôs Manipuladores”, atividade realizada no grupo de Robótica e de Inteligência Artificial do Laboratório de Análise e de Arquitetura dos Sistemas (LAAS) do CNRS (Centro Nacional da Pesquisa Científica de Toulouse na França), no quadro do meu “Diploma de Estudo Aprofundado” (o equivalente de um Mestrado no Brasil).

Pouco tempo depois de ter apresentado os resultados finais de tal trabalho (defesa de memorial), surgiu a oportunidade de um redirecionamento da minha área de pesquisa para iniciar um Doutorado na área das redes de Petri, no grupo de Sistemas de Produção do mesmo Laboratório, sob orientação do Pesquisador do CNRS Robert Valette, o qual durante toda a sua carreira de Pesquisador se dedicou ao estudo exclusivo da teoria das redes de Petri. Ele contribuiu para o enriquecimento da teoria das redes de Petri através da apresentação de novos teoremas (VALETTE, 1979) e de contribuições significativas na aplicação das redes de Petri ao campo da Manufatura Flexível (SILVA; VALETTE, 1989). Podem também ser destacados seus resultados relacionados à utilização de lógicas não convencionais para apresentar uma nova proposta da semântica operacional das redes de Petri (CARDOSO; VALETTE; DUBOIS, 1999) (GIRAULT; PRADIN-CHÉZALVIEL; VALETTE, 1997).

A teoria das redes de Petri originou-se na tese de Carl Adam Petri, apresentada em 1962 à Universidade de Darmstadt (PETRI, 1962). Uma rede de Petri é uma ferramenta gráfica e matemática que se adapta a inúmeras aplicações em que as noções de eventos e evoluções simultâneos são importantes. É um tipo de grafo, bipartido e orientado, o qual permite a modelagem, análise, simulação e controle de Sistemas a Eventos Discretos (MURATA, 1989). Uma rede de Petri representa, portanto, um processo em um

sistema dinâmico em que existem relações de concorrência, paralelismo e sincronização da informação. O formalismo matemático é um dos pontos mais importantes de uma rede de Petri. Por ser formal, é possível realizar uma análise precisa dos modelos para verificar propriedades estruturais e comportamentais. Além disso, permite a visualização gráfica dos processos e a representação dos mecanismos de comunicação entre as partes interessadas, sejam elas envolvidas ou não nas técnicas de programação.

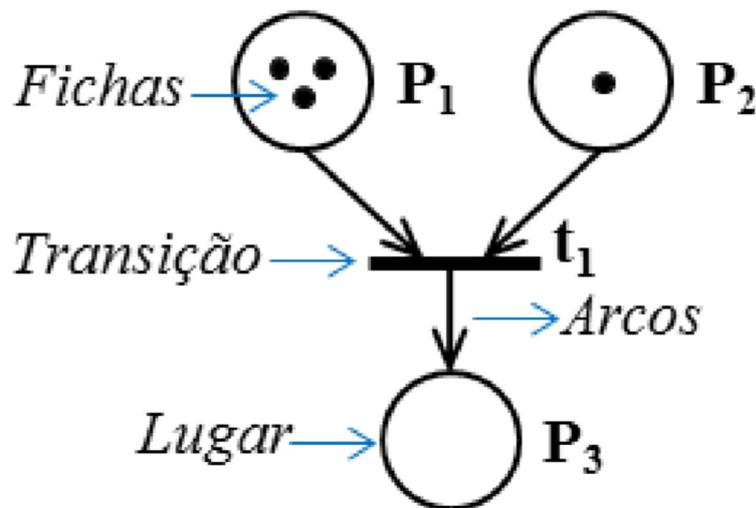


Figura 1 – Exemplo de rede de Petri

A Figura 1 ilustra um exemplo de modelo que apresenta os elementos básicos de uma rede de Petri.

### 5.1.2 Dados gerais de Doutorado: *Conception et Pilotage de Cellules Flexibles à fonctionnement répétitif modélisées par Réseaux de Petri*

O trabalho de pesquisa desenvolvido durante o meu Doutorado teve como objetivo principal propor uma abordagem para o dimensionamento (análise de desempenho), a elaboração de política de supervisão e monitoramento, e a apresentação de uma solução de escalonamento em tempo real de Células Flexíveis de Manufatura.

A abordagem proposta foi baseada em uma rede de Petri p-temporal (intervalos de tempo) t-temporizada (durações deterministas) mais genérica que um grafo de evento (modelo usado para representar sistemas cíclicos onde a noção de roteiro alternativo do tipo *if-then-else* não existe). Tal modelo permitiu a separação explícita entre as restrições de roteiros dos processos de fabricação e as restrições de recursos usados para a realização

das diversas operações. Também, graças ao modelo temporal/temporizado, foi possível expressar tanto as durações das operações (parâmetros do problema) associadas às transições quanto os tempos de espera das peças a serem usinadas nos estoques intermediários representados pelos lugares da rede (variáveis do problema).

Por meio de técnicas de programação matemática, foram produzidas as condições necessárias para a realização de uma produção mais ou menos flexível, condições, essas, baseadas nas bordas mínimas e máximas que correspondem às possibilidades de regimes estacionários cíclicos forçados. Tais bordas foram utilizadas em particular para implementar um algoritmo do tipo **jogador de rede de Petri p-temporal t-temporizado** com um mecanismo de retrocesso (*backtrack mechanism*), o qual pode ser usado para efetuar o cálculo de uma possível realização da produção (condição suficiente), sendo o principal objetivo encontrar um bom equilíbrio entre eficiência e flexibilidade da produção.

Finalmente, com base na solução de escalonamento previsional encontrada, um modelo p-temporal, através da utilização de um **jogador de rede de Petri** (*token player algorithm*) de tempo real sem mecanismo de retrocesso, foi associado à função de monitoramento de células de manufatura, o que permitiu o acompanhamento em tempo de execução das operações realizadas nas peças mecânicas, respeitando em particular as restrições de prazos da política de produção imposta.

Tal estudo pode ser visto como a proposta de uma metodologia formal de Análise e Projeto do um Sistema Computacional Tempo Real embarcado num Sistema de Manufatura Flexível. A particularidade da abordagem apresentada é de considerar um mesmo modelo formal e visual baseado em redes de Petri temporais/temporizadas em quase todas as fases do ciclo de vida de um mesmo sistema, o que tende a garantir um desenvolvimento rigoroso e coerente.

Foi nesse trabalho de pesquisa que eu considerei, pela primeira vez, as redes de Petri como um modelo formal de Análise e Simulação de Sistemas Complexos e Reativos. Foi também a primeira vez em que me foi apresentada a noção de Flexibilidade que, junto com a Teoria das redes de Petri, constitui até hoje um dos principais temas de pesquisa nos quais venho atuando.

### 5.1.3 Participação no Projeto RHAE-CNPq: Analytice

A principal motivação para iniciar um trabalho de pesquisa relacionado com a modelagem de Sistemas Flexíveis de Manufatura usando redes de Petri surgiu durante o ano de estudos relativos ao meu “Diploma de Estudo Aprofundado” (realizado no “Laboratório de Análise e de Arquitetura” no ano 1993), por meio da possibilidade de realizar uma parte do meu trabalho de Doutorado no Brasil, no CEFET/CPGEI de Curitiba-Pr, contando com uma bolsa de Pesquisador Visitante Estrangeiro no contexto de um Projeto de pesquisa RHAE-CNPq intitulado “Analytice”, sob responsabilidade do Professor/Pesquisador Maurizio Tazza, por um período de 16 meses.

O objetivo principal do projeto era de introduzir nas empresas de manufatura da região Sul do Brasil técnicas de Modelagem e Simulação de Sistemas de Manufatura Flexíveis. O meu tema específico no projeto era relacionado com o desenvolvimento de modelos baseados em redes de Petri estocásticas para o estudo do desempenho de Sistemas Flexíveis de Manufatura.

Na época, tal proposta representou para mim a oportunidade de realizar um tipo de Doutorado “Sanduíche”, em um quadro de parceria envolvendo a França e o Brasil.

#### **5.1.4 Participação no Projeto RHAE-CNPq: Desenvolvimento de um sistema de controle digital segundo o padrão *open Firmware***

No final do Projeto de pesquisa RHAE-CNPq “Analytice”, surgiu mais uma oportunidade de participar de um segundo Projeto de pesquisa RHAE-CNPq intitulado “Desenvolvimento de um sistema de controle digital segundo o padrão *open Firmware*”, projeto coordenado pela Pesquisadora Rita Maria Da Silva Julia, da Universidade Federal de Uberlândia - M.G.

O meu envolvimento específico no projeto estava relacionada com o desenvolvimento de interfaces independentes de plataforma para o Monitoramento e Controle de Sistemas Industriais com características de Tempo Real.

Foi assim possível estender, através deste Projeto, o período do meu Doutorado “Sanduíche”, em que boa parte foi realizada em laboratórios de pesquisa Brasileiros, tendo sido a defesa final da Tese realizada em Toulouse (França) no “Laboratório de Análise e Arquitetura dos Sistemas”, laboratório associado à Universidade Paul Sabatier de Toulouse.

#### **5.1.5 Resultados Científicos obtidos**

##### **5.1.5.1 Publicação de Tese de Doutorado**

Publicação da Tese de Doutorado:

- Autor: JULIA, STÉPHANE. Título: Conception et Pilotage de Cellules Flexibles à fonctionnement répétitif modélisées par Réseaux de Petri. Local: Université Paul Sabatier, UPS, França. Ano de obtenção: 1997. (JULIA, 1997)

##### **5.1.5.2 Artigos publicados em Congressos Científicos**

- JULIA, S.; VALETTE, R.; TAZZA, M. Computing a feasible schedule under a set of cyclical constraints. In: Second International Conference on Industrial Automation, 1995, Nancy. v. 1. p. 141-146. (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1995b)

- JULIA, S.; VALETTE, R.; TAZZA, M. Analysis of manufacturing cell under a set of cyclic constraints. In: 38TH Midwest Symposium on Circuits and Systems, 1995, Rio de Janeiro. v. 1. p. 23-26. (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1995a)
- JULIA, S.; VALETTE, R.; JULIA, R. M. S. Análise sob restrições baseadas em Redes de Petri de uma célula flexível de manufatura. In: Segundo Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 1995, Curitiba. p. 243-248. (JULIA; VALETTE; JULIA, 1995)
- JULIA, S.; VALETTE, R.; TAZZA, M. Analysis of the behavior of a manufacturing cell with cyclic feeding policies. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1994, San Antonio. v. 2. p. 1683-1688. (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1994)

### 5.1.5.3 Artigo publicado em Revista Científica

- JULIA, S.; VALETTE, R. Modeling and analysis of a flexible cell under a set of cyclic constraints. European Journal of Automation. Editions HERMES, Paris. v. 31, n.8, p. 1275-1296, 1997. (JULIA; VALETTE, 1997)

## 5.2 Pesquisa desenvolvida no âmbito do Projeto MEC (Professor Visitante Estrangeiro): Controle em Tempo Real de Sistemas Flexíveis de Manufatura

### 5.2.1 Dados gerais do Projeto

Iniciei os meus primeiros trabalhos de pesquisa como Professor Doutor financiado pelo MEC, no contexto de um projeto intitulado “Controle em Tempo Real de Sistemas Flexíveis de Manufatura”. O edital de chamada para tal projeto previa contratações de Professores Doutores Visitantes Estrangeiros para atuar em Instituições de Ensino Superior Públicas Federais. O objetivo, no caso, era que tais professores pudessem participar de programas de pós-graduação já consolidados ou em fase de implantação/consolidação.

A primeira parte do projeto foi executada no Departamento de Engenharia Elétrica no período entre 1997 e 1999. Como o laboratório onde eu trabalhava no Departamento de Engenharia Elétrica tratava de assuntos relacionados à Teoria do Controle e Automação, com ênfase nos sistemas representados por variáveis de estado contínuas, foi decidido na época que a minha contribuição seria na introdução de técnicas de Controle Supervisionado de Sistemas a Eventos Discretos. A proposta de pesquisa definida foi mais

especificamente associada à problemática de representação dos Sistemas de Produção Híbridos (sistemas de variáveis de estado tanto contínuas quanto discretas) e se concretizou através da orientação de uma dissertação de Mestrado de um aluno do programa de pós-graduação do Departamento de Engenharia Elétrica (JÚNIOR, 2000).

A segunda parte do projeto foi executada no Departamento de Informática no período entre 1999 e 2002. Na época, o programa de pós-graduação em Ciência da Computação estava em fase de criação (Curso de Mestrado). Na proposta de criação, fiquei associado ao grupo de pesquisa relacionado à Engenharia de Software. O meu novo tema de pesquisa acabou sendo direcionado para o estudo de Sistemas de Tempo Real (Modelagem e Análise), tendo-se concretizado através da orientação de dois alunos do novo programa de pós-graduação em Ciência da Computação (JÚNIOR, 2003) (KANACILO, 2003).

Um dos objetivos do projeto era também de dar continuidade aos trabalhos desenvolvidos durante a minha Tese de Doutorado na área de Modelagem e Análise de Sistemas Flexível de Manufatura usando resultados da teoria das Redes de Petri.

### **5.2.2 Orientação de Mestrado do Aluno Clarimundo Machado Moraes Júnior: Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando uma Rede de Petri p-temporal t-temporizada com mecanismo de retrocesso inteligente**

Neste trabalho, foram apresentados modelos e técnicas de resolução, tradicionalmente aplicados no quadro de Sistemas Flexíveis de Manufatura, para tratar a problemática dos Sistemas de Produção Híbridos, mais especificamente os Sistemas de Produção por Lotes. Neste contexto, foi observado que certas diferenças existem entre estes dois tipos de Sistemas de Produção e que as técnicas utilizadas na manufatura precisam de certas adaptações para poderem ser aplicadas ao caso dos Sistemas de Produção por Lotes.

Particularmente, foi apresentada uma metodologia para a resolução do problema de escalonamento cíclico dos Sistemas de Produção por Lotes através da definição de um jogador (*token player algorithm*) de rede de Petri p-temporal t-temporizado baseado num mecanismo de retrocesso (*backtrack mechanism*). O mecanismo de retrocesso é baseado num mecanismo de diagnóstico inteligente aplicado a cada ocorrência de violação de restrição de tempo/prazo, tendo como objetivo a obtenção de sequências sub-ótimas admissíveis (que respeitam um conjunto das restrições).

O modelo proposto no trabalho reflete bem o comportamento híbrido dos Sistemas de Produção por Lotes, principalmente pelo fato de considerar durações imprecisas de processamento dos lotes. Ao contrário dos tempos precisos de usinagem de peças mecânicas dos Sistemas de Manufatura, os tempos envolvidos no tratamento de lotes de matérias primas usadas em problemas de Engenharia Químicas e de Alimentos (como, por exemplo, a fermentações de um lote de leite na produção de iogurte industrial) não são bem

conhecidos, podendo variar de um lote para outro.

Ao término desse trabalho, tive a oportunidade de ir para o Departamento de Informática para trabalhar com problemas de Engenharia de Software, razão pela qual não dei continuidade ao tema proposto no contexto deste projeto.

### 5.2.3 Orientação de Mestrado da Aluna Elisângela Mieko Kana-cilo: Uma abordagem para verificação de cenários de sistemas tempo real baseada em diagramas dinâmicos UML e em um jogador de redes de Petri

Nesse trabalho, foi proposta uma abordagem para a modelagem e a verificação de cenários de Sistemas Tempo Real, o que pode ser visto como um tipo de problema de escalonamento.

Tal abordagem foi baseada na notação semi formal UML (*Unified Modeling Language*) e em um modelo formal baseado nas rede de Petri p-temporais, tendo sido aplicada ao estudo de um Sistema Tempo Real usado na Coordenação de Sistemas de Produção por Lotes.

Os cenários do Sistema Tempo Real foram inicialmente especificados através de diagramas dinâmicos da UML (diagramas de Sequência e/ou de Colaboração). Porém, esses diagramas geralmente modelam cenários individuais, sem considerar, de forma explícita, a possibilidade de uso de recursos compartilhados necessários à boa execução das atividades especificadas. Portanto, para verificar a consistência do comportamento do sistema como um todo, em situações em que diversos cenários podem ser executados simultaneamente (em paralelo), o conjunto de cenários foi traduzido em uma rede de Petri temporal única com o objetivo de obter uma definição formal da semântica operacional dos diagramas de UML no caso de aplicações de Tempo Real.

Para simular o modelo global obtido, um **jogador de rede de Petri temporal** (*token player algorithm*) foi implementado. A característica de um jogador é que ele consiste de um mecanismo de inferência especializado para a tomada de decisões a cada vez que um conflito relativo a um recurso compartilhado aparece durante a execução do sistema. Os resultados de simulação (os cenários admissíveis encontrados) foram então documentados na forma de diagramas de colaboração que, além de deixarem claro a forma de resolução das situações de conflitos, fornecem as orientações para a concepção de um projeto de arquitetura de software baseado em um objeto centralizado de tipo supervisor. Tal objeto controla as possíveis interações entre os diversos objetos de software que ficam associados aos equipamentos físicos que constituam o sistema a ser controlado.

Uma das contribuições desse trabalho consiste na proposta de uma abordagem para a modelagem de Sistemas Tempo Real onde os aspectos dinâmicos, especificados de modo semi-formal através dos diagramas da notação UML, podem ser formalmente verificados

através de uma técnica de simulação baseada em um algoritmo de tipo **jogador de rede de Petri temporal**. A técnica de simulação apresentada resulta, sob o ponto de vista da Engenharia de Software, de uma técnica de prototipação que pode ser utilizada em fase de análise como parâmetro de medida de desempenho (verificação de requisito de software não funcional). Uma outra contribuição a ser destacada é que a abordagem auxilia na transição da fase de análise para a fase de projeto (concepção de uma arquitetura de software centralizada).

#### **5.2.4 Orientação de Mestrado do Aluno Silvio Bacalá Júnior: Arquitetura de software baseada numa abordagem UML - Redes de Petri com prevenção de bloqueio mortal em sistemas de tempo real**

Esse trabalho apresentou uma abordagem para modelagem de uma arquitetura de software para Sistemas de Tempo Real livre de bloqueios (*deadlocks*). Tal abordagem segue as diretrizes do Processo Unificado, utilizando a notação semi-formal UML em conjunto com um modelo formal baseado em redes de Petri.

Na abordagem apresentada, inicialmente é produzido um modelo de Casos de Uso que representa as principais funcionalidades do sistema, assim como as suas interações com o ambiente externo. Em seguida, cenários relevantes são especificados por meio de diagramas de interação da UML, mais especificamente diagramas de Sequência. Esses diagramas, porém, modelam apenas cenários isolados (um cenário por diagrama), não levando em conta as possibilidades de compartilhamento de recursos necessários à boa realização das atividades especificadas. Portanto, para a verificação do comportamento global do sistema, quando vários cenários são executados em paralelo, produz-se um modelo baseado em redes de Petri que fixa a semântica operacional dos diagramas de sequência (definindo em particular as regras de disparos e execução das atividades especificadas em tais diagramas).

Para análise da existência de bloqueios no sistema global, é necessário transformar, através de regras de redução, a rede de Petri global obtida em uma rede de tipo  $S^3PR$ . Nesse tipo particular de rede, um bloqueio é identificado pela presença de um sifão que pode tornar-se livres de marcações. Uma vez detectado uma situação de bloqueio, um lugar de controle é adicionado ao modelo, evitando, assim, que o sifão correspondente se torne livre de marcações.

Os resultados da análise de sifões em um modelo de análise podem produzir ropostas de escolhas de arquiteturas livres de situações de bloqueios. Tais escolhas se dão entre uma arquitetura centralizada, em que existe um objeto supervisor que controla as interações do sistema com os objetos de software associados aos equipamentos físicos, ou uma arquitetura distribuída, em que os objetos de software interagem entre si na forma de

objetos clientes ou servidores.

Como principal contribuição deste trabalho, pode-se destacar que a abordagem proposta possibilita analisar qualitativamente (prevenção de situações de bloqueios) a especificação de um Sistema de Tempo Real modelado formalmente por uma rede de Petri no contexto do Processo Unificado.

## 5.2.5 Resultados Científicos obtidos

### 5.2.5.1 Resultados relacionados ao estudo de Sistemas de Produção Híbridos (no Departamento de Engenharia Elétrica) e à Orientação de Mestrado do Aluno Clarimundo Machado Moraes Júnior

Publicação da Dissertação de Mestrado:

- Autor: Clarimundo Machado Moraes Júnior. Título: Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando uma Rede de Petri p-temporal t-temporizada com mecanismo de retrocesso inteligente. Ano: 2000. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Artigos em Congressos Científicos:

- JULIA, S.; MORAES JÚNIOR, C.M. Scheduling Batch Systems using a Petri Net Model and an intelligent backtrack mechanism. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2000, Nashville. p. 3110-3115. (JULIA; JÚNIOR, 2000)
- JULIA, S.; VALETTE, R. Simulation en Temps Réel pour l'aide au Pilotage des Systèmes Hybrides. In: Deuxième Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, 1999, Annecy. MOSIM'99, 1999. p. 285-290. (JULIA; VALETTE, 1999)
- JULIA, S.; MORAES JÚNIOR, C. M. Escalonamento de sistemas de produção por lotes usando-se um mecanismo de retrocesso inteligente. In: Quarto Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 1999, São Paulo. p. 521-526. (JULIA; JÚNIOR, 1999)
- JULIA, S.; VALETTE, R.; FERNANDES, J. M. Scheduling Batch Systems using a token player algorithm. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1998, San Diego. p. 487-492. (JULIA; VALETTE; FERNANDES, 1998)
- JULIA, S.; VALETTE, R.; MORAES JÚNIOR, C. M.; FERNANDES, J. M. Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando-se um jogador de Rede de Petri. In: XII Congresso Brasileiro de Automática, 1998, Uberlândia. p. 397-402. (JULIA et al., 1998)

Publicação em Periódico Internacional:

- ❑ JULIA, S.; VALETTE, R. Real time scheduling of batch systems. *Simulation Practice and Theory*. Elsevier. p. 307319, 2000. (JULIA; VALETTE, 2000)

#### **5.2.5.2 Resultados relacionados ao estudo de Sistemas de Tempo Real (no Departamento de Informática) e às Orientações de Mestrado da Aluna Elisângela Mieko Kanacilo e do Aluno Silvio Bacalá Júnior**

Publicação de Dissertações de Mestrado:

- ❑ Autor: Elisângela M Kanacilo. Título: Uma abordagem para a verificação de cenários de sistemas tempo real, baseada em diagramas dinâmicos UML e em um jogador de redes de Petri. Ano: 2003. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.
- ❑ Autor: Silvio Bacalá Júnior. Título: Arquitetura de software baseada numa abordagem UML/Redes de Petri com prevenção de bloqueio mortal em sistemas de tempo real. Ano: 2003. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Artigos em Congressos Científicos:

- ❑ JULIA, S.; KANACILO, Elisângela M. An UML/Petri Net approach for scenario verification of Real Time Systems. In: *Brazilian Petri Net Meeting, 2002*, Natal. (JULIA; KANACILO, 2002b)
- ❑ JULIA, S.; KANACILO, Elisângela Mieke. An approach based on dynamic UML diagrams and on a token player algorithm for the scenario verification of Real Time Systems. In: *14TH European Simulation Symposium, 2002*, Dresden. p. 377-381. (JULIA; KANACILO, 2002a)
- ❑ JULIA, S.; BACALA JUNIOR, Sílvio. Object Oriented Software Architecture Design based on UML/Petri Net approach for deadlock prevention of Real Time Systems. In: *International Conference on Computer Science, Software Engineering, Information Technology, e-Business, and Applications (CSITeA'03)*, 2003, Rio de Janeiro. v. 1. p. 60-65. (JULIA; JÚNIOR, 2003)

Publicação em Periódico Internacional:

- ❑ JULIA, S.; BACALÁ JÚNIOR, S. Object Oriented Software Architecture Design based on UML/Petri Net approach for deadlock prevention of Real Time Systems. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, v. 5, n.1, p. 67-83, 2005. (JULIA; JÚNIOR, 2005)

## 5.3 Coordenação do Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG: Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de Sistemas Tempo Real

### 5.3.1 Introdução

Depois de ter conseguido uma vaga definitiva como professor efetivo na Faculdade de Computação, a fim de dar sequência aos trabalhos de pesquisa iniciados como Professor Visitante Estrangeiro no contexto do projeto MEC (envolvendo modelos semi-formais UML e modelos formais baseados em redes de Petri para a Modelagem e Análise de Sistemas Tempo Real), obti a aprovação de uma proposta de Projeto de Pesquisa num Edital Universal Fapemig. Tal projeto foi efetivamente implementado no período de 2005/2007. Como houve atraso de cerca de 2 anos na liberação das verbas pela FAPEMIG, certos trabalhos de orientação (em particular de Mestrado) foram iniciados num período anterior ao período oficial do Projeto. Por outro lado, outros trabalhos que foram iniciados durante o período oficial do Projeto foram concluídos depois do período oficial. Assim, de todos os resultados de pesquisa relacionados com o Projeto, nem todos coincidam exatamente com o período oficial de 2005/2007 registrado pela Fapemig.

### 5.3.2 Dados gerais do Projeto

O objetivo da proposta do Projeto é o de apresentar uma abordagem baseada nos diagramas dinâmicos da notação UML e nas redes de Petri p-temporais para a Verificação de Cenários de Sistemas de Processamento em Tempo Real (STR). A idéia principal consiste em traduzir os diagramas dinâmicos da UML que representam as especificações iniciais de um sistema em uma única rede de Petri p-temporal que representa o comportamento global do sistema. Um mecanismo de inferência especializado, chamado de Jogador de redes de Petri p-temporais, deve então ser aplicado ao modelo p-temporal obtido, a fim de realizar a Verificação dos Cenários especificados pela notação UML. Tal atividade, quando se trata de STR, é equivalente à resolução de um problema de Escalonamento. O jogador de rede de Petri p-temporal, implementado numa linguagem de programação Orientada a Objetos (Java), pode ser visto como um software de simulação de diagramas dinâmicos da notação UML usados no caso de especificações de STR. A abordagem proposta pode então ser aplicada a diversos exemplos de STR, tais como “o Escalonamento em Tempo Real de Sistemas de Gerenciamento de Workflow” e “a Verificação de Cenários de Arquiteturas de Software de Sistemas Tempo Real”.

### 5.3.3 Equipe de Pesquisadores

Os participantes do Projeto foram:

- ❑ Prof. Dr. Stéphane Julia: Coordenador do Projeto e Orientador no Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Pesquisador Dr. Robert Valette: Pesquisador do LAAS-CNRS (Laboratório de Análise e Arquitetura de Sistemas do Centro Nacional da Pesquisa Científica na França).
- ❑ Prof. Ms. Silvio Bacalá Júnior: Professor Efetivo da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Michel dos Santos Soares: Aluno do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Fernanda Francielle de Oliveira: Aluna do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ Joslaine Cristina Jeske: Aluna do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia.
- ❑ André Luiz Bernardo Ramos: Aluno do Curso de graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia.

### 5.3.4 Orientação de Mestrado do Aluno Michel dos Santos Soares: Uma abordagem baseada num jogador de redes de Petri p-temporal e no cálculo de sequentes da lógica linear para a verificação de cenários de sistemas tempo real especificados através de diagramas dinâmicos da UML

Nesse trabalho foi proposta uma técnica para a Verificação de Cenários de Sistemas Tempo Real combinando a notação semi-formal UML e um modelo formal baseado em redes de Petri.

Inicialmente, diagrama de Casos de Uso que apresentam as principais funcionalidades de um Sistema Tempo Real são produzidos. Em sequência, os cenários possíveis, que correspondem a cada funcionalidade modelada, são especificados através de diagramas de Sequência da UML. Devido ao fato de esses diagramas apresentarem apenas cenários parciais específicos do sistema, não possibilitando a representação explícita de recursos compartilhados, eles são então traduzidos em modelos baseados em redes de Petri p-temporais. Dessa forma, o modelo final obtido representa o comportamento global do sistema para todos os cenários existentes que compartilham os diversos recursos existentes.

Uma vez obtido um modelo global do sistema, situações de conflitos por recursos compartilhados são isoladas e datas simbólicas de consumo e produção de fichas são derivadas a partir do cálculo dos sequentes da Lógica Linear; tais datas servem, em particular, para resolver em Tempo Real as situações de conflitos durante a execução do sistema.

Um algoritmo de tipo **Jogador de fichas de uma rede de Petri p-temporal** é utilizado para simular as possibilidades de execução relativas aos diversos cenários. Devido ao mecanismo de decisão baseado no cálculo dos sequentes da Lógica Linear, os resultados de simulação obtidos não necessariamente consideram o disparo das transições do modelo assim que elas ficam sensibilizadas. Os resultados de simulação de sequências admissíveis de operações são então traduzidos em diagramas de Colaborações que mostram o comportamento global do sistema, respeitando a semântica dos diagramas de Sequências inicialmente utilizados na fase de especificação das funcionalidades do sistema.

Os resultados de Análise e Simulação do modelo formal são finalmente usados na fase de Projeto do sistema através de uma proposta de Arquitetura Centralizada baseada em um objeto específico cuja função corresponde à coordenação de todas as interações existentes entre os diversos objetos de software. Em particular, o comportamento Interno do objeto que centraliza em Tempo Real a execução das atividades do sistema é dado por um modelo baseado na rede de Petri p-temporal produzida na fase de Análise e Simulação.

A principal contribuição deste trabalho é a possibilidade de resolver as situações de conflito em Tempo Real, uma vez que estas são analisadas e tratadas previamente através da geração de datas simbólicas baseadas no cálculo dos sequentes da Lógica Linear que podem ser simplesmente substituídas por datas numéricas durante a execução do sistema. Também, a abordagem proposta auxilia na transição entre as fases de Análise e de Projeto, além de fornecer uma proposta de Arquitetura de Software de Sistemas Tempo Real. Finalmente, a técnica do **Jogador de redes de Petri** apresentada pode ser vista como uma técnica de simulação dos principais diagramas de comportamento da notação UML.

A principal limitação da abordagem desenvolvida corresponde à impossibilidade de tratar mais de duas transições em conflito.

### **5.3.5 Orientação de Mestrado da Aluna Fernanda Francielle de Oliveira: Problema do escalonamento em tempo real dos sistemas de gerenciamento de workflow baseado em um modelo de rede de Petri híbrida p-temporal**

Em tal trabalho, foi apresentada uma abordagem para a modelagem de Sistemas de Gerenciamento de *Workflow* com o objetivo de fornecer uma solução para o problema do escalonamento destes sistemas.

Inicialmente são utilizados diagramas de Atividades da UML para a representação de

roteiros (sequências de atividades) que existem num sistema. Apesar de serem bastante adequados para modelagem de processos de *Workflow*, os diagramas de Atividades não são capazes de representar conceitos importantes presentes em Sistemas de Gerenciamento de *Workflow*. Estes diagramas não mostram, por exemplo, os mecanismos de alocação de recursos compartilhados e as restrições de tempo de modo formal.

A partir da especificação inicial de um Sistemas de Gerenciamento de *Workflow* baseada em um diagrama de Atividades, é produzido um modelo formal baseado em uma rede de Petri p-temporal que representa o comportamento global do sistema com considerações explícitas de tempo e mecanismos de alocação de recursos híbridos (fichas discretas e contínuas).

Posteriormente, é implementado e aplicado ao modelo um mecanismo de inferência especializado que, por sua vez, contém um mecanismo de resolução de conflitos e um mecanismo de propagação de restrições temporais. Tal mecanismo de inferência é denominado **Jogador de redes de Petri**. O resultado da simulação do modelo é então dado por um cenário admissível que corresponde a uma sequência específica de atividades que respeita as restrições de tempo do modelo formal.

Finalmente, os resultados de análise e simulação são usados na fase de Projeto onde deve ser proposta uma Arquitetura de Software que permita aplicar a abordagem apresentada ao escalonamento em tempo real (sem mecanismo de retrocesso), a fim de permitir o efetivo funcionamento dos Sistemas de Gerenciamento de *Workflow*.

A principal contribuição deste trabalho é a de propor novos mecanismos de alocação de recursos híbridos (discretos e contínuos) que permitem representar os diversos tipos de recursos (equipamentos físicos e funcionários envolvidos nas atividades dos processos) presentes em Sistemas de Gerenciamento de *Workflow*. O uso de recursos contínuos possibilita a representação do comportamento humano em atividades de processos de negócios de forma realista. Por exemplo, um recurso humano representado por um recurso contínuo pode ficar envolvido em mais de uma atividade simultaneamente, como é geralmente o caso em atividades administrativas onde um secretário, por exemplo, pode atender o público, atender o telefone e produzir documentos administrativos dentro de um mesmo período. Uma única ficha de um recurso discreto dificilmente consegue mostrar a verdadeira dinâmica de trabalho de um recursos humano em um sistema administrativo.

### 5.3.6 Orientação de Mestrado da Aluna Joslaine Cristina Jeske: Mecanismo de alocação de recursos fuzzy para sistemas de gerenciamento de workflow

Em Sistemas de Gerenciamento de *Workflow*, recursos podem representar tanto equipamentos físicos quanto funcionários (pessoas). A maioria dos recursos de tipo humano podem, geralmente, tratar de modo simultâneo diversas atividades. A fim de expressar de

forma realista os mecanismos de alocação de recursos onde o comportamento humano é levado em conta, o referido trabalho associa conjuntos *Fuzzy* delimitados pela distribuição de possibilidade na forma triangular às marcações das fichas nos lugares que representam a disponibilidade de recursos humanos. Esse novo modelo apresenta também uma definição de **transição habilitada** e **equação fundamental** da teoria das redes de Petri. Além disso, a abordagem propõe uma expressão linear de uma marcação *Fuzzy* a fim de garantir que o novo modelo continue consistente com a teoria geral das redes de Petri.

Para ilustrar a abordagem proposta, simula-se um **Serviço de Reclamação** de uma seguradora considerando diversos mecanismos de alocação de recursos (discreto, contínuo, *Fuzzy*). O mecanismo de simulação é baseado em um mecanismo de inferência especializado chamado de **Jogador de Rede de Petri p-temporal**. Pôde-se notar que os prazos de finalização dos processos de reclamação são geralmente respeitados somente no caso em que são usados recursos *Fuzzy*. Isso se deve ao fato de que, usando tais recursos, é possível sobrecarregar funcionários quando os prazos de execução dos processos começam a sofrer atrasos em relação aos prazos previstos, como acontece geralmente na prática quando o trabalho administrativo é realizado por recursos humanos (funcionários).

A principal contribuição desse trabalho é a de propor, de forma bem próxima ao que acontece nas empresas/administrações, uma nova abordagem para a representação de recursos humanos em Sistemas de Gerenciamento de *Workflow*.

### 5.3.7 Orientação de Iniciação Científica do Aluno André Luiz Bernardo Ramos: Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de sistemas tempo real

O objetivo desse trabalho foi de implementar em Java o mecanismo de inferência especializado denominado **Jogador de Redes de Petri p-temporal**. Tal mecanismo foi utilizado para simular e validar cenários de Sistemas Tempo Real quando o modelo de especificação do sistema é uma rede de Petri p-temporal.

A Arquitetura do **Jogador** implementado foi dividida em dois ambientes distintos. O primeiro corresponde às ferramentas de Criação e Edição de modelos baseados em redes de Petri p-temporais (temporizações associadas com os lugares do modelo). O segundo corresponde ao ambiente de Simulação dos modelos produzidos. Três modos de Simulação são então possíveis:

- modo de Simulação sem restrições de prazos de entrega dos processos tratados;
- modo de Simulação com restrições de prazos de entrega dos processos tratados;
- modo de Simulação com recursos *Fuzzy* (possibilidade de sobrecarga dos recursos para respeitar os prazos de entrega dos processos tratados).

O mecanismo implementado contribui para abordar problemas tais como:

- ❑ a problemática do Escalonamento em Sistemas de Gerenciamento de *Workflow* que consideram a utilização de recursos híbridos (discretos e *Fuzzy*);
- ❑ a criação de um mecanismo de tomada de decisão, com ou sem mecanismo de retrocesso (versão tempo real), capaz de resolver problemas ligados à situações de conflitos por recursos compartilhados onde existem restrições de prazos de entregas dos processos tratados.

Tal ferramenta foi usada, particularmente, para validar os modelos propostos nas dissertações de Mestrado de Fernanda Francielle de Oliveira (FRANCIELLE, 2005) e de Joslaine Cristina Jeske (JESKE, 2006).

### 5.3.8 Resultados Científicos obtidos

#### 5.3.8.1 Resultados relacionados às Orientações de Mestrado do Aluno Michel dos Santos Soares e das Alunas Fernanda Francielle de Oliveira e Joslaine Cristina Jeske

Publicação de Dissertações de Mestrado:

- ❑ Autor: Michel dos Santos Soares. Título: Uma abordagem baseada num jogador de redes de Petri p-temporal e no cálculo de sequentes da lógica linear para a verificação de cenários de sistemas tempo real especificados através de diagramas dinâmicos da UML. Ano: 2004. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.
- ❑ Autora: Fernanda Franciella. Problema do escalonamento em tempo real dos sistemas de gerenciamento de workflow baseado em um modelo de rede de Petri híbrida p-temporal. Ano: 2005. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.
- ❑ Autora: Joslaine Cristina Jeske. Mecanismo de alocação de recursos fuzzy para sistemas de gerenciamento de workflow. Ano: 2006. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Artigos em Congressos Científicos:

- ❑ JULIA, S.; SOARES, Michel dos Santos. Verification of real time UML specifications through a specialized inference mechanism based on a token player algorithm and the sequent calculus of linear logic. In: 15th European Simulation Symposium (ESS 2003), 2003, Delft. v. 1. p. 65-70. (JULIA; SOARES, 2003)

- ❑ JULIA, S.; SOARES, Michel dos Santos. Centralized architecture for real time scheduling of batch systems. In: 11th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, 2004, Salvador da Bahia. (JULIA; SOARES, 2004)
  
- ❑ JULIA, S.; FRANCIELLE, Fernanda. A p-time hybrid Petri net model for the scheduling problem of Workflow Management Systems. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2004, The Hague. p. 4947-4952. (JULIA; FRANCIELLE, 2004)
  
- ❑ FRANCIELLE, Fernanda; JULIA, S. Software architecture for the real time scheduling of workflow management systems based on a Petri net model. In: XX Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, 2006, Florianópolis. p. 1-16. (FRANCIELLE; JULIA, 2006)
  
- ❑ JESKE, Joslaine Cristina; JULIA, S.; VALETTE, R. Fuzzy continuous resource allocation mechanisms in workflow management systems. In: The 2006 IEEE International Conference on Information reuse and integration, 2006, Hawaii. p. 472-477. (JESKE; JULIA; VALETTE, 2006)
  
- ❑ JESKE, Joslaine Cristina; JULIA, S.; VALETTE, R. Fuzzy Continuous Resource Allocation Mechanisms in Workflow Management. In: 2009 XXIII Brazilian Symposium on Software Engineering, 2009, Fortaleza. (JESKE; JULIA; VALETTE, 2009)
  
- ❑ JESKE, Joslaine Cristina; JULIA, S.; VALETTE, R. A model to represent human behavior in workflow management systems. In: ICNPAA 2010 World Congress: 8th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, 2010, São José dos Campos, Brazil. p. 385-392. (JESKE; JULIA; VALETTE, 2010)

Publicação em Periódico Internacional:

- ❑ SOARES, M.; JULIA, S.; VRANCKEN, J. Real-time scheduling of batch systems using Petri nets and linear logic. *The Journal of Systems and Software*, v. 81, p. 1983-1996, 2008. (SOARES; JULIA; VRANCKEN, 2008)
  
- ❑ JULIA, S.; FRANCIELLE, Fernanda; VALETTE, R. Real time scheduling of workflow management systems based on a p-time Petri net model with hybrid resources. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 16, p. 462-482, 2008. (JULIA; FRANCIELLE; VALETTE, 2008)

### 5.3.8.2 Resultados relacionados à Orientação do Aluno de Iniciação Científica André Luiz Bernardo Ramos

Publicação de Artigo em Congresso Científico:

- RAMOS, A. L. B.; JULIA, S. Fuzzy Token Player: Ferramenta de simulação de Sistemas de Gerenciamento de Workflow. In: XXI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, XIV Sessão de Ferramentas, 2007, João Pessoa - PB. v. 1. p. 33-39. (RAMOS; JULIA, 2007)

## 5.4 Coordenação do Projeto: Modelagem, análise e simulação de processos de Workflow usando redes de Petri: aplicação à Engenharia de Software

### 5.4.1 Introdução

No final do Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG “Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de Sistemas Tempo Real”, em particular considerando as orientações de Dissertações de Mestrado das alunas Fernanda Francielle de Oliveira (FRANCIELLE, 2005) e Joslaine Cristina Jeske (JESKE, 2006), o assunto relacionado com a Modelagem e Análise de processos de *Workflow* assumiu um crescente destaque dentre meus temas de pesquisa. Como foi apresentado em (AALST; HEE, 2004), uma rede de Petri que representa um processo de *Workflow* é chamada de Workflow net. Um processo define quais tarefas precisam ser executadas e em qual ordem a execução deve ocorrer. Modelar um processo de *Workflow* em termos de uma WorkFlow net é bem direto: transições são componentes ativos e modelam as tarefas; lugares são componentes passivos e modelam as condições; e as fichas modelam os casos a serem tratados.

Para ilustrar o mapeamento de processos em WorkFlow nets, considera-se por exemplo o processo de tratamento de reclamação apresentado em (AALST; HEE, 2004): “Uma reclamação é inicialmente gravada. Então, o cliente que efetuou a reclamação e o departamento responsável pela reclamação são contactados. O cliente é questionado para maiores informações. O departamento é informado sobre a reclamação. Estas duas tarefas podem ser executadas em paralelo, isto é, simultaneamente, ou em qualquer outra ordem. Depois disso, os dados são recolhidos e uma decisão é tomada. Dependendo da decisão, ou um pagamento de compensação é efetuado, ou uma carta é enviada. Finalmente, a reclamação é armazenada”. A Figura 2 mostra a WorkFlow net que representa este processo.

Tal projeto foi efetivamente implementado no período de 2007/2013 através das orientações das Dissertações de Mestrado das alunas Lígia Maria Soares Passos, Liliane do Nascimento Vale e Leiliane Pereira de Rezende, e dos alunos Flávio Félix Medeiros e

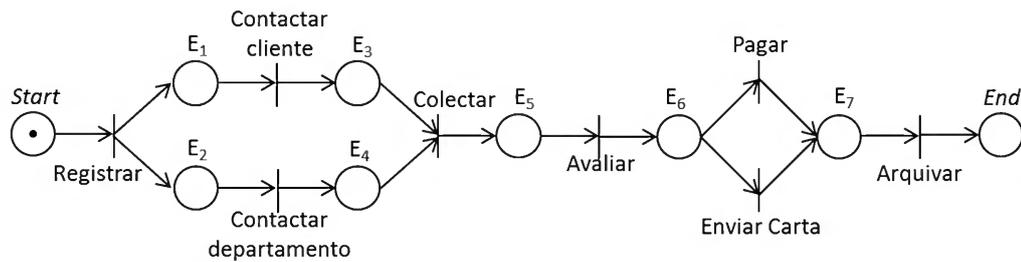


Figura 2 – Exemplo de Workflow net

Guilherme William De Oliveira. Os recursos providos por órgãos oficiais de fomento para a execução desse projeto foram uma bolsa de Mestrado REUNI-MEC e uma bolsa de Mestrado CAPES.

### 5.4.2 Dados do Projeto

O objetivo da proposta do Projeto foi desenvolver novos modelos de Análise e Simulação baseados em WorkFlow nets que se aplicassem às mais diversas atividades da Engenharia de Software e aos mais diversos tipos de Software. A idéia principal consiste em representar atividades (ou conjuntos de atividades) executadas durante o desenvolvimento de um Software por WorkFlow nets considerando, em um primeiro momento, modelos baseados em redes de Petri ordinárias (autônomas), migrando, posteriormente, para formalismos de alto nível baseados em redes de Petri interpretadas e temporizadas.

### 5.4.3 Equipe de Pesquisadores

Os participantes do Projeto foram:

- ❑ Prof. Dr. Stéphane Julia: Coordenador do Projeto e Orientador no Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia - M.G.
- ❑ Ligia Maria Soares Passos: Aluna (Mestrado) do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.
- ❑ Leiliane Pereira de Rezende: Aluna (Mestrado)do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.
- ❑ Liliane do Nascimento Vale: Aluna (Mestrado)do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.
- ❑ Flávio Félix Medeiros: Aluno (Mestrado) do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.

- Guilherme William de Oliveira: Aluno (Mestrado) do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.

#### 5.4.4 Orientação de Mestrado da Aluna Ligia Maria Soares Passos: Formalização de Workflow nets utilizando Lógica Linear: análise qualitativa e quantitativa

A análise qualitativa apresentada nesse trabalho tem por objetivo provar o critério de corretude denominado *Soundness* definido para as Workflow Nets. Uma Workflow net é *Sound* se e somente se: para cada ficha colocada no lugar de início da rede de Petri correspondente, uma (e apenas uma) ficha aparecerá no lugar de término; quando uma ficha aparece no lugar de término, todos os outros lugares estão vazios, considerando o caso em questão; considerando uma tarefa associada a uma transição, é possível evoluir da marcação inicial até uma marcação que sensibiliza tal transição, ou seja, não deve haver nenhuma transição morta na Workflow net.

A análise quantitativa também proposta no referido trabalho baseia-se no cálculo de datas simbólicas para o planejamento dos recursos utilizados na realização de cada tarefas do processo de *Workflow* modelado.

As especificações iniciais dos processos de *Workflow* são dadas por notações semi formais baseadas nos diagramas de Atividades da UML. Para a verificação de tais modelos de especificação, são apresentadas regras de transformações entre diagramas de Atividades e Workflow Nets. Tais regras são implementadas na linguagem de transformação ATL (ATLAS Transformation Language). A fim de encontrar e corrigir os pontos críticos que aparecem nas Workflow nets obtidas, usaram-se árvores de prova canônica da Lógica Linear.

O fato de trabalhar com fórmulas da Lógica Linear, que expressam formalmente a semântica operacional das Workflow nets, permite provar o critério de corretude *Soundness* em tempo linear, sem que seja necessária a construção de um grafo das marcações acessíveis, considerando diretamente a própria estrutura da Workflow net, ao invés de considerar seu autômato correspondente.

Além disso, o cálculo de datas simbólicas que correspondem à execução de cada tarefa mapeada em uma t-Time Workflow net permite planejar a utilização dos recursos envolvidos nas atividades do processo de *Workflow*. As expressões de fórmulas baseadas em datas simbólicas podem então ser utilizadas por qualquer caso tratado pelo processo de *Workflow* correspondente, sem que seja necessário percorrer novamente a estrutura do processo para recalcular, para cada novo caso, as datas de início e término das atividades envolvidas no processo.

A principal vantagem da abordagem apresentada para a verificação de processos de *Workflow* especificados por diagramas de Atividades da UML é a transformação de um

modelo semi-formal em um modelo formal para o qual algumas boas propriedades, como a propriedade *Soundness*, por exemplo, podem ser formalmente verificadas.

#### **5.4.5 Orientação de Mestrado do Aluno Flávio Félix Medeiros: Análise sob restrições baseada em um raciocínio energético para o problema de escalonamento tempo real de sistemas de gerenciamento de Workflow**

Tal pesquisa apresenta uma proposta para solução do problema de Escalonamento Tempo Real dos Sistemas de Gerenciamento de *Workflow*. Mais especificamente, a abordagem proposta consegue estabelecer restrições temporais (intervalos de datas) de início de execução das atividades do *Workflow* levando em consideração os recursos disponíveis, os prazos de entrega dos casos a serem tratados, bem como as definições dos roteiros existentes no processo.

O método proposto considera duas abordagens: uma, relacionada à propagação de restrições temporais ao longo dos roteiros dos processos de *Workflow* e, a outra, baseada em um tipo de Raciocínio Energético que leva em consideração a disponibilidade dos recursos necessários à boa execução das atividades.

A principal contribuição desse trabalho está relacionada com a melhoria de uma base de conhecimento que define o conjunto de restrições que um mecanismo de inferência especializado usado para a construção de uma solução de escalonamento tempo real (jogador de redes de Petri p-temporal sem mecanismo de restrição) deve respeitar. Em particular, o Raciocínio Energético serve de filtro para a base de conhecimento que indica as restrições de tempo a serem respeitadas dentro de soluções possíveis de escalonamento de atividades, permitindo em particular, especificar o estreitamento dos intervalos de datas possíveis para a realização das atividades dos processos de *Workflow*.

Um outro ponto que merece destaque é que a aplicação de um Raciocínio Energético permite detectar soluções de escalonamentos inadmissíveis no contexto dos sistemas de gerenciamento de *Workflow* devido à identificação da indisponibilidade dos recursos envolvidos em certos períodos de tempo, isso sem necessitar do uso de algoritmos de natureza combinatorial que possuem, normalmente, uma complexidade de tipo exponencial, já que o problema de escalonamento é um problema NP-completo.

#### **5.4.6 Orientação de Mestrado da Aluna Liliane do Nascimento Vale: Especificação de testes funcionais usando Redes de Petri a objetos para Softwares Orientados a Objetos**

Essa pesquisa apresenta uma metodologia de desenvolvimento de modelos de Teste Funcional usando redes de Petri a Objetos e Workflow Nets para Arquiteturas de Soft-

ware orientadas a Objetos, com o objetivo de oferecer uma alternativa à informalidade relacionada ao tratamento das atividades de teste em Engenharia de Software.

Inicialmente, para a criação do modelo de Teste Funcional, segue-se o modelo de desenvolvimento em V (SOMMERVILLE, 2000). Na parte relacionada ao levantamento de requisito do modelo em V, um modelo de especificação formal de teste deve ser produzido com base nos modelos de requisitos disponíveis.

É importante salientar que, para a obtenção do modelo de Teste Funcional, são considerados conceitos de processos de *Workflow* e redes de Petri a Objetos (SIBERTIN-BLANC, 1985), originando um novo modelo denominado de: Workflow Nets a Objetos.

Devido ao caráter formal das redes de Petri, elas são ideais para a modelagem de processos de *Workflow* uma vez que permitem representar, com muita simplicidade, os roteiros que existem nos processos de negócio. Diante desse fato, nota-se que as características assumidas por um processo de *Workflow* correspondem aos requisitos necessários à obtenção de um modelo de Teste Funcional, pois ambos possuem um ciclo de vida com um início e um fim, além de considerarem a execução de várias operações no decorrer do ciclo.

Outro ponto beneficiado pelo uso das redes de Petri a Objetos é a capacidade de representação de verdadeiras estruturas de dados complexas que, sem dúvida, favorecem a possibilidade de geração automática de classes de teste.

A utilização de diversas linguagens de modelagem, como os diagramas da UML, os diagramas de fluxo de dados, bem como os diagramas de fluxo de controle, são relevantes para mostrar diversas visões do sistema a fim de fornecer uma documentação suficientemente elaborada para a geração de modelos de Teste Funcional realistas.

A metodologia de geração de testes funcionais é aplicada nesse trabalho a um estudo de caso que considera um software real orientado a Objetos, mostrando, assim, a possibilidade de implementação dos modelos.

#### **5.4.7 Orientação de Mestrado do Aluno Guilherme William de Oliveira: Modelagem e Análise de *Video Game* usando as Workflow nets e a Lógica Linear**

É apresentado em tal trabalho uma proposta de modelagem de *Video Game* baseada nas Workflow nets e na lógica linear. Para a criação de modelos de jogo, além das Workflow nets tradicionais usadas em Sisternas de Gerenciamento de *Workflow*, é introduzida a noção de recursos discretos que representam os itens que o jogador encontra no decorrer das *Quests* que ele percorre. É também apresentada uma decomposição hierárquica de modelos de jogos com a apresentação de um novo conceito, chamado de Redes de *Quests*, que permite agregar o conjunto das *Quests* que existem em um jogo completo.

A análise qualitativa apresentada neste trabalho tem por objetivo de provar, no contexto de jogos de tipo ação/aventura/RPG, o critério de corretude denominado de *Soundness* definido para as WorkFlow nets.

A análise quantitativa proposta neste trabalho é baseada no cálculo de datas simbólicas para estimar os tempos de jogo de *Quests*.

Nas Workflow nets, um jogador é um caso de um processo de *Workflow* com objetivos específicos a serem atingidos. A propriedade de *Soundness* é específica das WorkFlow nets e parece bastante consistente com a noção de *Quest* de um *Video Game*. Por outro lado, a noção de recurso discreto nesse trabalho pode ser associada aos itens de jogo encontrados e utilizados durante *Quests* de jogos. Um exemplo mostra, em particular, que o efeito de tais itens pode facilmente tornar não *Sound* uma Rede de *Quests*.

As vantagens da abordagem apresentada são diversas. O fato de trabalhar com lógica linear permite provar o critério de corretude *Soundness* em tempo linear sempre que são consideradas estruturas de controle paralelas, sem que seja necessária a construção de um grafo das marcações acessíveis, considerando diretamente a própria estrutura da Workflow net, ao invés de considerar seu autômato subjacente. Além disso, o cálculo de datas simbólicas que correspondem à execução de cada atividade elementar mapeada em uma t-Time Workflow net permite estimar os tempos de jogo das *Quest* através de fórmulas baseadas em datas simbólicas. Além disso, o cálculo de datas (ou durações) simbólicas pode ser visto como um tipo de simulação em uma etapa do desenvolvimento onde o jogo não tenha ainda sido implementado. Neste caso, os resultados dos dados produzidos podem, inclusive, orientar na escolha da complexidade das atividades propostas (*Gameplay*), tornando o jogo desafiador do ponto de vista dos jogadores.

#### 5.4.8 Orientação de Mestrado da Aluna Leiliane Pereira de Rezende: Workflow net possibilística para problemas de não conformidade em processos de negócios

Esse trabalho propõe um modelo de uma WorkFlow net possibilística que combina a estrutura de roteamento das WorkFlow Nets (redes de Petri que modelam processos de negócios) com a marcação e o disparo impreciso das redes de Petri possibilísticas (CARDOSO; VALETTE; DUBOIS, 1999). Tal abordagem foca na flexibilidade na perspectiva da existência de desvios/inconsistências em fluxos de controle que aparecem durante a execução em tempo real de um processo de negócios quando atores humanos estão envolvidos nas atividades do processo.

A abordagem é validada por meio de um processo associado a um Serviço de Reclamação onde atores humanos são envolvidos nas atividades do processo, juntamente com dois exemplos de desvios que são utilizados para ilustrar a abordagem proposta.

No primeiro exemplo, o ator responsável por entrar em contato com o cliente não

consegue contata-lo por causa das restrições temporais presentes no modelo (o ator responsável não pode esperar indefinidamente a resposta do cliente). No segundo exemplo, a autonomia de decisão dada a um funcionário em função de seu conhecimento do processo, permitindo-o de ignorar em certos casos um conjunto completo de atividades normalmente representadas no modelo do processo, faz com que as restrições de precedências especificadas no modelo do processo não sejam respeitadas.

Nos dois casos de desvios, a única solução é então “saltar/esquivar” uma ou mais atividades programadas no modelo sem modificar a definição da estrutura do processo. Isso é realizado através da adoção do conceito de marcação e de disparo incerto. Caso não fosse utilizado tal artifício, o processo ficaria bloqueado/travado até que o mesmo fosse reiniciado manualmente.

Comparando esta abordagem com outros trabalhos que tratam do problema de não conformidade em processos de negócios, a principal vantagem é que o modelo do processo baseado numa rede de Petri subjacente clássica não é modificado e, portanto, os métodos clássicos usados para análise das boas propriedades do processo permanecem válidos, tais como a verificação da propriedade *Sound*. Além disso, uma abordagem possibilística é adaptada para expressar de forma realista o conceito de flexibilidade e robustez em processos de negócios. Ademais, é uma abordagem capaz de raciocinar num conhecimento imperfeito sobre o estado de um processo, permitindo o prosseguimento do mesmo sem que possíveis situações de bloqueios ocorram, tornando assim mais robusto e mais “inteligente” a interação entre os atores humanos encarregados de executar as atividades e o modelo formal do processo.

#### **5.4.9 Resultados Científicos relacionados às Orientações de Mestrado das Alunas Lígia Maria Soares Passos, Liliane do Nascimento Vale, Leiliane Pereira de Rezende e dos Alunos Flávio Félix Medeiros, Guilherme William de Oliveira**

Publicação de Dissertações de Mestrado:

- ❑ Autora: Lígia Maria Soares Passos. Título: Formalização de Workflow nets utilizando Lógica Linear: análise qualitativa e quantitativa. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.
- ❑ Autora: Liliane Nascimento do Vale. Título: Especificação de Testes Funcionais usando Redes de Petri a Objetos para Softwares Orientados a Objetos. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.
- ❑ Autor: Flavio Felix Medeiros. Título: Analise sob restrições aplicada ao problema de escalonamento em sistemas de gerenciamento de workflow: Uma abordagem baseada

em um raciocínio energético aplicado as Redes de Petri híbridas p-temporais. Ano: 2009. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

- ❑ Autor: Guilherme William de Oliveira. Título: Modelagem e Análise de Videogame usando as Workflow nets e a Lógica Linear. Ano: 2012. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.
- ❑ Autora: Leiliane Pereira de Rezende. Título: Workflow net possibilística para problemas de não conformidade em processos de negócios. Ano: 2013. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Artigos em Congressos Científicos:

- ❑ PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Qualitative Analysis of WorkFlow nets using Linear Logic. In: 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2009, San Antonio, USA. p. 2922-2926. (PASSOS; JULIA, 2009b)
- ❑ MEDEIROS, F.F.; JULIA, S. Análise sob restrições baseada em um raciocínio energético para o problema de escalonamento tempo real de sistemas de gerenciamento de Workflow. In: IX SBAI, 2009, Brasília. (MEDEIROS; JULIA, 2009)
- ❑ PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Análise qualitativa e quantitativa de Workflow nets utilizando Lógica Linear. In: V Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2009, Brasília. p. 24-36. (PASSOS; JULIA, 2009a)
- ❑ OLIVEIRA, G. W.; JULIA, S.; PASSOS, L. M. S. Game Modeling using WorkFlow nets. In: 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2011, Anchorage, USA. p. 838-843. (OLIVEIRA; JULIA; PASSOS, 2011)
- ❑ REZENDE, L.P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Inconsistency recovery in business processes using a possibilistic workflow net. In: International Conference of the Chilean computer science society, 2012, Valparaiso, Chile. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2012a)
- ❑ REZENDE, L.P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Possibilistic Workflow nets to deal with non-conformance in process execution. In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2012, Seul, Korea. p. 1219-1224. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2012b)
- ❑ PASSOS, L. M. S.; MAGALHAES JUNIOR, T. A.; MAIA, M.A.; JULIA, S. Verification of workflow specifications in UML using automated transformations to WF-nets. In: IX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação, 2013, João Pessoa. p. 674-685. (PASSOS et al., 2013)

- MEDEIROS, F.F.; JULIA, S. Constraint analysis based on energetic reasoning applied to the problem of real time scheduling of workflow management systems. In: ICEIS, 2017, Porto, Portugal. v. 3. p. 373-380. (MEDEIROS; JULIA, 2017)

Publicação em Periódico Internacional:

- JULIA, S.; VALE, L.N.; PASSOS, L.M.S. Functional testing using object workflow nets. *Computing and Informatics*, v. 35, p. 719-743, 2016. (JULIA; VALE; PASSOS, 2016)

## **5.5 Participação no Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG: Modelagem e Análise de Sistemas Distribuídos de Tempo Real Usando MARTE e SysML**

### **5.5.1 Introdução**

No período de 2012/2014, participei de um Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG, coordenado pelo Professor Michel dos Santos Soares, no contexto de uma abordagem multi-formalismo para Especificação e Análise de Sistemas de Tempo Real. A principal atividade que desenvolvi como participante do projeto foi a orientação da Dissertação de Mestrado da aluna Luciane de Fátima Silva.

### **5.5.2 Dados gerais do Projeto**

O desenvolvimento de Sistemas Distribuídos de Tempo Real é uma atividade complexa por vários motivos. Um problema comum desses sistemas é a necessidade de comunicação entre sensores, atuadores e outros componentes físicos que geralmente estão distribuídos no ambiente. Ou seja, o sistema deve constantemente receber dados do ambiente e enviar dados de controle aos componentes físicos distribuídos no ambiente. Desta forma, existe um esforço de comunicação entre esses elementos, devendo ser respeitados os requisitos temporais determinados nas especificações de requisitos. O problema do tempo real torna-se ainda mais complexo devido à própria distribuição dos componentes do sistema. Outro fator a elevar a complexidade é a necessidade de modelar, não somente o software, mas, também, diversas outras características inerentes aos sistemas distribuídos de tempo real, tais como recursos compartilhados, restrições temporais, distribuição de elementos, e componentes físicos. Assim sendo, as linguagens de modelagem devem ser capazes de modelar software, hardware, pessoas, procedimentos, sensores, atuadores, comunicação, e recursos em geral. Dessa forma, torna-se virtualmente impossível que a modelagem

seja realizada utilizando-se apenas uma única linguagem de modelagem ou formalismo da Engenharia de Software. Uma abordagem que provê o suporte para o uso de diferentes linguagens de modelagem em conjunto, cada uma responsável por diferentes aspectos do sistema, tem maiores possibilidades de sucesso.

### 5.5.3 Orientação de Mestrado da Aluna Luciane de Fátima Silva: Detecção e correção de situações de *deadlock* em Workflow nets interorganizacionais

Tal pesquisa apresentada um procedimento sistemático para detecção e correção de situações de *deadlock* em Workflow nets interorganizacionais, seguido de uma proposta de abordagem para um Projeto de Arquitetura Distribuída livre de *deadlock*.

Um dos fatores que inviabiliza a boa propriedade *Soundness* numa Workflow net é a presença de *deadlock* no modelo. Sabe-se que a existência de situações de *deadlock* numa rede de Petri está relacionada com a presença de uma estrutura chamada sifão que se torna desprovido de fichas. O software PIPE (*Plataform Independent Petri net Editor*) pode ser utilizado para encontrar os sifões existentes em um modelo.

Após ter a relação num modelo de todos os sifões diretamente relacionados à situações de *deadlock*, deva-se implementar um procedimento de controle supervisorio desses sifões. Tal procedimento, por meio da adição de lugares de controle, deve restringir o disparo das transições que levam uma rede de Petri a alcançar situações de *deadlock*.

Uma vez obtido um modelo de WorkFlow net interorganizacional livre de *deadlock*, pode ser proposto um Projeto de Arquitetura Distribuída na qual todos os lugares de controle são transformados em WorkFlow net locais que se comunicam com os processos locais da Workflow net Interorganizacionais.

### 5.5.4 Resultados Científicos relacionados à Orientação de Mestrado da Aluna Luciane de Fátima Silva

Publicação de uma Dissertação de Mestrado:

- Autora: Luciane de Fátima Silva. Título: Detecção e correção de situações de *deadlock* em Workflow nets interorganizacionais. Ano: 2014. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Artigo em Congresso Científico:

- SILVA, L. F.; PASSOS, L.M.S.; SOARES, M. S.; JULIA, S. Siphon-Based Deadlock Prevention Policy for Interorganizational WorkFlow net Design. In: International Conference on Information Reuse and Integration, 2013, San Francisco. p. 293-300. (SILVA et al., 2013)

## 5.6 Coordenação do Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG: Modelagem, Análise e Monitoramento de processos de negócio flexíveis utilizando as Workflow nets e Lógicas não clássicas

### 5.6.1 Introdução

Como consequência de diversos trabalhos de pesquisa relacionados à Modelagem e Análise de processos de *Workflow* desenvolvidos essencialmente através das orientações de Dissertações de Mestrado das alunas Ligia Maria Soares Passos, Leiliane Pereira de Rezende e Joslaine Cristina Jeske, e com o objetivo de consolidar a área relacionada com modelos baseados em Workflow nets, submeti e obtive a aprovação do projeto intitulado “Modelagem, Análise e Monitoramento de processos de negócio flexíveis utilizando as Workflow nets e Lógicas não clássicas” junto à FAPEMIG (edital Universal). O projeto foi efetivamente implementado no período de 2015/2017. Como houve atraso de cerca de 2 anos na liberação das verbas pela FAPEMIG, certos trabalhos de orientação (em particular de Mestrado) foram iniciados num período anterior ao período oficial do Projeto. Por outro lado, outros trabalhos que foram iniciados durante o período oficial do Projeto foram concluídos depois do período oficial. Assim, de todos os resultados de pesquisa relacionados com o Projeto, nem todos coincidam exatamente com o período oficial de 2015/2017 registrado pela Fapemig.

### 5.6.2 Dados gerais do Projeto

A área de gerenciamento de processos de negócios, do inglês *Business Process Management* (BPM), tem recebida atenção considerável nos últimos anos em razão de seu potencial em aumentar significativamente a produtividade e economizar gastos nas organizações. Além disso, o conceito de processo serve como ponto de partida para o entendimento de como um negócio opera e quais oportunidades existem para coordenar suas atividades constituintes. Considerando tais questões, uma abordagem para modelagem, análise e monitoramento de processos de negócios pode ser proposta. O principal modelo utilizado é baseado nas Workflow nets, que são redes de Petri usadas para representar processos de negócios.

Na primeira parte do projeto, as árvores de prova da lógica linear são usadas para analisar processos que devem verificar os principais critérios de corretude, em particular, a propriedade chamada *Sound*. A partir das provas obtidas na verificação desta propriedade, pode-se efetuar um tipo de análise quantitativa baseada no cálculo de datas simbólicas para a atribuição de atividades específicas aos atores do processo.

A segunda parte do projeto está relacionada com o estudo de processos de negócios flexíveis embutidos em estruturas organizacionais já existentes onde os critérios de correção não podem ser sistematicamente garantidos. Neste caso, através da reconstituição e reconfiguração dos processos, técnicas de prevenção de estados perigosos podem ser apresentadas. Em particular, podem-se utilizar modelos de monitoramento baseados em redes de Petri com marcação *fuzzy* para tratar problemas de desvios que acontecem quando os atores envolvidos não respeitam as sequencias de atividades previstas nos modelos de processos.

Estudos de casos nas áreas dos sistemas de informação e dos jogos eletrônicos validam as abordagens propostas.

### 5.6.3 Equipe de Pesquisadores

Os participantes do Projeto foram:

- Prof. Dr. Stéphane Julia: Coordenador do Projeto e Orientador no Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia - M.G.
- Pesquisador Dra. Janete Cardoso: Pesquisadora do ISAE (Instituto Superior da Aeronáutica e do Espaço na França).
- Ligia Maria Soares Passos: Aluna (Doutorado) do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.
- Leiliane Pereira de Rezende: Aluna (Doutorado) do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.
- Joslaine Cristina Jeske: Aluna (Doutorado) do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.
- Vinícius Ferreira De Oliveira: Aluno (Mestrado) do Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Uberlândia -M.G.

### 5.6.4 Orientação de Doutorado da Aluna Ligia Maria Soares Passos: Uma metodologia baseada na lógica linear para verificação de processos de *workflow* interorganizacionais

Esse trabalho formaliza quatro métodos baseados na Lógica Linear para verificação de processos de workflow interorganizacionais. Os modelos gerados são baseados nas WorkFlow net Interorganizacionais (IOWF-net), que são redes de Petri que modelam tais processos.

O primeiro método baseado na Lógica Linear para verificação de processos de *workflow* interorganizacionais está relacionado com a verificação do critério de correção *Soundness* para processos de *workflow* interorganizacionais. Uma IOWF-net é *Sound* se todas as instâncias do processo de uma Workflow net são corretamente tratadas e finalizadas. O método mostra como a construção e análise de árvores de prova da Lógica Linear permitem a verificação do critério de correção *Soundness* para processos de *workflow* interorganizacionais, considerando, diretamente, a estrutura acíclica de uma IOWF-net. O uso da Lógica Linear permite uma análise parcial do modelo, o que não é possível quando uma abordagem baseada na construção e análise de grafos das marcações acessíveis é utilizada.

O segundo método também baseado na Lógica Linear corresponde à verificação do critério de correção *Relaxed Soundness* para processos de *workflow* interorganizacionais. Uma IOWF-net é *Relaxed Sound* se cada tarefa do processo é considerada em pelo menos um dos cenários que podem ser corretamente finalizados. Este método formaliza o modo como as árvores de prova da Lógica Linear, construídas para a verificação do critério de correção *Soundness* para um dado processo de workflow interorganizacional, podem ser reutilizadas para decidir o critério de correção *Relaxed Soundness* para o dado processo.

O terceiro método tem por objetivo mostrar que o reuso de árvores de prova da Lógica Linear construídas para a verificação do critério de correção *Soundness* para um processo de *workflow* interorganizacional permite a verificação do critério de correção *Weak Soundness* para processos de *workflow* interorganizacionais não *Sound*, considerando diretamente a estrutura acíclica da rede utilizada para modelagem do processo. Uma IOWF-net é *Weak Sound* se não há *deadlock* no modelo e se a correta conclusão do processo é garantida, mesmo em casos onde o processo possui tarefas que não são executadas, ou seja, tarefas "mortas".

O quarto método é o método para detecção de cenários livres de *deadlock* em processos de *workflow* interorganizacionais. Este método considera, inicialmente, a construção e análise de árvores de prova da Lógica Linear para os cenários das WorkFlow nets locais. Desta análise inicial são obtidos cenários candidatos que devem ser verificados também através da construção e análise de árvores de prova da Lógica Linear, para garantir que, de fato, tais cenários são livres de *deadlock*. O método apresentado identifica todos os cenários livres de *deadlock* em um dado processo de *workflow* interorganizacional, permitindo que as organizações envolvidas no processo possam analisar tais cenários e verificar se os mesmos satisfazem suas necessidades de negócio.

Um estudo de caso apresenta a relação entre a modelagem de um processo de *workflow* interorganizacional e a modelagem de uma composição de serviços Web. Os métodos formalizados no contexto dos processos de *workflow* interorganizacionais são então aplicados ao contexto das composições de serviços Web. É mostrado em particular como as árvores de prova da Lógica Linear devem ser adaptadas já na prova do critério de correção

*Soundness*, para que o reuso das mesmas possa ocorrer tanto nos métodos para verificação dos critérios de correção *Relaxed Soundness* e *Weak Soundness* quanto no método para detecção de cenários livres de *deadlock*. O trabalho apresenta uma comparação entre uma abordagem tradicional para verificação de *Soundness* baseada na construção e análise de grafos das marcações acessíveis e a abordagem apresentada no próprio trabalho, destacando o fato de os sequentes mostrarem, de maneira explícita, as possibilidades de colaborações existentes entre os serviços Web.

Finalmente, as abordagens para planejamento de recursos e monitoramento de cenários livres de *deadlock* utilizando árvores de prova da Lógica Linear mostram que dados derivados das árvores de tal Lógica permitem realizar um planejamento de recursos para o tratamento de tarefas, de forma que sejam determinados intervalos de datas simbólicas para as quais os recursos devem permanecer disponíveis. Além disso, tais dados derivados das árvores de prova podem ser utilizados em estratégias de monitoramento dos cenários livres de *deadlock*, de forma que o sistema global evite as situações de bloqueio. Simulações utilizando a ferramenta de simulação CPN Tools permitem a validação dos dados simbólicos obtidos pelo método apresentado.

### **5.6.5 Orientação de Doutorado da Aluna Leiliane Pereira de Rezende: Workflow net possibilística aplicada aos sistemas de gerenciamento de processos de negócios flexíveis**

Essa pesquisa tem como principal contribuição o tratamento de situações de desvios moderados e até extremos em processos de negócios modelados por Workflow nets por meio da noção de disparo incerto, tendo como propósito proporcionar um certo grau de flexibilidade no comportamento dos modelos de processos de negócios. Em particular, diferentes situações de desvios são consideradas e descritas através de quatro tipos de processos.

O padrão de mudança “*Parallelize Process Fragments*”, concebido para paralelizar fragmentos de modelos de processos que, originalmente, são puramente sequencial (WEBER; REICHERT; RINDERLE-MA, 2008), pode ser incorporado, por meio de disparos incertos, nos modelos mono-processo, de forma a paralelizá-los parcialmente. Esta paralelização permite suportar certas sequências de eventos não previstas em modelos de processos quando os recursos envolvidos não seguem rigorosamente as sequências pré-determinadas. Desta forma, a flexibilidade incorporada no modelo proporciona uma melhoria na produtividade do sistema quando se consideram as práticas de trabalho na área administrativa, além de evitar possíveis estados de inconsistência quando os recursos envolvidos não respeitam a estrutura do modelo do processo.

Os padrões de projeto “*Cancel activity*” e “*Cancel case*” (AALST et al., 2003), responsáveis, em certas circunstâncias, por capturar a interferência de uma atividade na

execução das outras atividades, podem ser incorporados nos modelos dos processos a partir do uso de disparos incertos, sem, com isso, perder a decidibilidade da propriedade *Soundness*. Levando em consideração que um pedido de cancelamento pode ser visto como um desvio/distúrbio quase traumático e que, se não tratado adequadamente, um estado de inconsistência pode ser alcançado, a flexibilidade fornecida por um jogador (mecanismo de inferência do modelo) de Workflow net possibilística permite executar um pedido de cancelamento de forma a recuperar o estado normal de funcionamento do modelo do processo em execução sem atingir qualquer tipo de inconsistência.

Nos modelos de processos interorganizacionais, as falhas decorrentes da comunicação entre processos parceiros podem ser contornadas por meio da aplicação de disparos incertos, de forma a contornar possíveis falhas de comunicação ocasionadas durante a sua execução. Em tal problema, a noção de disparo incerto é considerada com o intuito de incorporar uma certa flexibilidade ao modelo do processo, de forma a torná-lo robusto quando não há um total controle sobre a geração dos eventos. Desta forma, situações imprevistas ocasionadas por pequenos desvios de comportamento durante a execução de modelos de processos interorganizacionais podem ser contornadas.

Os estados de *deadlock* presentes nos modelos dos processos interorganizacionais, causados pela sincronização entre processos paralelos, podem ser evitados em tempo de execução através de disparos incertos. Levando em consideração que uma situação de *deadlock* pode ser considerada como um tipo de desvio, a flexibilidade obtida a partir da noção de disparos incertos permite evitar as sequências de disparos errôneos, isto é, as sequências que levam a uma situação de *deadlock*.

A ferramenta de modelagem CPN Tools pode ser usada, por meio do uso da linguagem de programação funcional Standard ML, para implementar, simular e validar o uso de disparos incertos, com o objetivo de avaliar a robustez das técnicas propostas nesse trabalho. A partir das simulações realizadas, pôde-se concluir que todas as características esperadas de um modelo de processo possibilístico, de acordo com o tipo de desvio considerado e o comportamento flexível produzido pelo jogador, são contempladas.

Comparando o comportamento dos novos modelos possibilísticos com os modelos determinísticos de processos tradicionais, a principal vantagem é que as situações de desvios em relação aos comportamentos esperados são detectadas em tempo de execução e assimiladas pelos novos modelos de processos. Em particular, um desvio em um comportamento esperado não se caracteriza mais como um estado de inconsistência e, em certos casos, o novo processamento dos eventos, através de um raciocínio incerto, permite aos sistemas de gerenciamento de processos de negócios uma melhoria significativa no desempenho dos casos tratados. Além disto, o fato de trabalhar com um modelo formal faz com que as boas propriedades dos sistemas modelados sejam mantidas mesmo após aplicação de uma nova semântica operacional associada à ocorrência de eventos incertos em sistemas administrativos.

### 5.6.6 Orientação de Doutorado da Aluna Joslaine Cristina Jeske: Dimensionamento e gerenciamento de workflow net com recursos usando redes de Petri híbridas fuzzy

Em Sistema de Gerenciamento de *Workflow*, recursos podem representar tanto equipamentos físicos quanto pessoas. A maioria dos recursos de tipo humano podem tratar várias atividades simultaneamente. Para expressar de forma realista um mecanismo de alocação de recursos onde o comportamento humano é considerado, conjuntos *fuzzy* delimitados pela distribuição de possibilidade na forma triangular são associados com as marcações dos lugares de uma Workflow net para formalizar o conceito de disponibilidade humana.

Além disso, a abordagem considera a utilização de intervalos *fuzzy* para representar a incerteza dos tempos de processamento das atividade de processos de negócio e encontrar a melhor flexibilização dos prazos de cada atividade.

A noção de distribuição de possibilidade associada às condições de sensibilização das transições de uma Workflow net permite uma representação bastante fiel em relação à forma de trabalhar de funcionários humanos em ambientes de escritório. Em particular, a utilização de mecanismos de alocação de recurso contínuos *fuzzy* associados a intervalos temporais fuzzy com regras de disparo baseadas em distribuições de possibilidades conjuntas (que juntam os aspectos incertos da disponibilidade de um recurso e de um prazo de realização de uma atividade) garante um monitoramento flexível dos prazos de realização das atividades em gestão de projetos.

A fim de tentar encontrar formas de gerenciamento flexível dos recursos em processos de negócios, diversos jogadores de redes de Petri (mecanismos de inferências especializados aplicados aos modelos de processos), aplicados aos diversos modelos propostos de alocação de recursos, devem ser gerados. De certa forma, cada jogador associado a um tipo de mecanismo de alocação de recurso corresponde a um tipo de solução do problema de escalonamento em tempo de execução de um Sistema de Gerenciamento de *Workflow*.

A fim de validar os diversos mecanismos de alocação de recurso apresentados junto com os jogadores correspondentes usados na execução dinâmica (simulação) dos modelos, a linguagem CPN-ML é uma boa alternativa para implementar e testar cada proposta. Através do uso da ferramenta CPN Tools, cada proposta pode ser efetivamente implementada e testada em um ambiente de simulação que permite a produção de eventos aleatórios e a replicação dos experimentos. O aspecto de simulação serve, essencialmente, para gerar aleatoriamente os eventos que aconteceriam em um ambiente real de escritório.

É importante destacar que com uma ferramenta qualquer de simulação, não seria possível implementar cada proposta, em função do comportamento complexo, incerto e bastante flexível dos mecanismos apresentados. É por isso que, geralmente, as ferramentas de edição e de gerenciamento de processos de *Workflow* apresentam os mecanismos de

alocação de recurso de modo informal ou semi-formal, deixando a cargo dos administradores envolvidos a responsabilidade do respeito aos planejamentos de atividades impostos. Com o uso da ferramenta CPN Tools, é possível mostrar uma proposta de ferramenta de simulação onde aparecem mecanismos de alocação de recursos complexos que permitem simular Sistema de Gerenciamento de *Workflow* em condições de funcionamento variados. É também possível avaliar o comportamento de sistemas em situações de funcionamento crítico (recursos em situações de sobrecarga, por exemplo).

A visualização dos resultados de simulação mostram como se comportará um sistema, considerando diversos cenários possíveis de distribuição de recursos, permitindo assim realizar propostas de dimensionamento do sistema com base em uma ferramenta de modelagem e simulação próxima da forma de trabalhar de funcionários em ambiente de escritório. Outros modelos e/ou ferramentas de análise e simulação dificilmente contemplariam a forma flexível de se trabalhar em ambientes reais, no caso de processos de negócio e de sistemas administrativos.

### **5.6.7 Orientação de Mestrado do Aluno Vinícius Ferreira De Oliveira: Uma regra de sincronização baseada na Lógica Linear para prevenção de deadlock em Workflow nets interorganizacionais**

Esse trabalho tem como principal contribuição a apresentação de um método para remoção de situações de *deadlock* em processos de *workflow* interorganizacionais modelados por Workflow nets Interorganizacionais (IOWF-nets) localmente *sound* (cada mono-processo é *sound*), porém não globalmente *sound* (o processo Interorganizacionais composto por diversos mono-processos que comunicam não é *Sound*). É apresentado também um tipo de análise qualitativa e quantitativa de IOWF-nets baseada no cálculo dos sequentes da Lógica Linear.

Inicialmente, um método que utiliza a construção e análise das árvores de prova da Lógica Linear verifica os cenários que possuem situações de *deadlock* no modelo. A solução apresentada para remoção de situações de *deadlock* é baseada na substituição dos elementos de comunicação responsáveis por situações de *deadlock* por novos mecanismos de comunicação parcialmente síncronos. A regra de sincronização usada sincroniza, então, a execução das atividades que levam o processo interorganizacional a situações de *deadlock*.

O método apresentado de remoção dos *deadlocks* reprocessa somente os sequentes específicos de partes de árvores de provas da Lógica Linear já parcialmente calculadas, não sendo necessário uma análise completa do modelo do sistema a cada vez que ocorre uma modificação na estrutura de controle dos processos. Isso significa que, em caso de sincronização de certas partes dos processos de uma WorkFlow net Interorganizacional,

somente as partes diretamente alteradas do modelo deverão ser re-analisadas, sendo levados em conta somente os fragmentos das árvores de provas do cálculo dos sequentes da Lógica Linear que foram geradas durante a análise qualitativa responsável pela detecção de situações de *deadlock*.

Uma análise quantitativa baseada na geração de expressões de datas simbólicas a partir das árvores de provas do cálculo dos sequentes que representam os cenários sound de uma IOWF-net indica, em certos casos, que o modelo final de um processo interorganizacional, após aplicação da regra de sincronização, poderá eventualmente sofrer um acréscimo no tempo global de finalização do processo, de acordo com as datas numéricas atribuídas ao disparo das transições, atrasando, eventualmente, a finalização do processo global.

É interessante validar a abordagem apresentada através de um estudo de caso no contexto da composição de *Web Services*, já que existe uma relação próxima entre a modelagem de um processo de workflow interorganizacional e uma composição de *Web Services*.

### 5.6.8 Resultados Científicos relacionados às Orientações de Doutorados das Alunas Lígia Maria Soares Passos, Leiliane Pereira de Rezende, Joslaine Cristina Jeske e à Orientação de Mestrado do Aluno Vinícius Ferreira De Oliveira

Publicação de Teses de Doutorado:

- Autora: Lígia Maria Soares Passos. Título: Uma metodologia baseada na lógica linear para análise de processos de workflow interorganizacionais. Ano: 2016. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia. (primeira defesa de Doutorado do Programa de pós-graduação)
- Autora: Leiliane Pereira de Rezende. Título: Workflow net possibilística aplicada aos sistemas de gerenciamento de processos de negócios flexíveis. Ano: 2017. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.
- Autora: Joslaine Cristina Jeske de Freitas. Título: Modelagem e Simulação de sistemas de gerenciamento de processos de negócios baseadas em Workflow net temporais com mecanismos de alocação de recursos híbridos fuzzy. Ano: 2017. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Dissertação de Mestrado:

- Autor: Vinicius Ferreira de Oliveira. Título: Uma regra de sincronização baseada na Lógica linear para prevenção de deadlock em workflow nets interorganizacionais. Ano: 2017. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

## Publicação de Artigos em Congressos Científicos:

- ❑ PASSOS, L.M.S.; JULIA, S. Linear Logic as a tool for deadlock-freeness scenarios detection in interorganizational workflow processes. In: 2014 IEEE 26th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2014, Limassol - Cyprus. p. 316-320. (PASSOS; JULIA, 2014)
- ❑ REZENDE, L.P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Possibilistic interorganizational Workflow net for the recovery problem concerning communication failures. In: ICEIS 2014 - 16th International Conference on Enterprise Information Systems, 2014, Lisbon. p. 432-439. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2014)
- ❑ BARRETO, F.M.; JESKE, Joslaine Cristina; SOARES, Michel dos Santos; JULIA, S. A Straightforward Introduction to Formal Methods Using Coloured Petri Nets. In: 16th International Conference on Enterprise Information Systems, 2014, Lisbon. p. 145-152. (BARRETO et al., 2014)
- ❑ PASSOS, L.M.S.; JULIA, S. Relaxed soundness verification for interorganizational workflow processes. In: 17th international conference on enterprise information systems, 2015, Barcelona. v. 3. p. 221-228. (PASSOS; JULIA, 2015b)
- ❑ FREITAS, J.C.J.; JULIA, S.; REZENDE, L.P. Fuzzy resource allocation mechanisms in workflow nets. In: 17th international conference on enterprise information systems, 2015, Barcelona. v. 1. p. 471-478. (FREITAS; JULIA; REZENDE, 2015a)
- ❑ REZENDE, L.P. ; JULIA, S. Deadlock avoidance in interorganizational business processes using a possibilistic workflow net. In: 17th international conference on enterprise information systems, 2015, Barcelona. v. 1. p. 429-439. (REZENDE; JULIA, 2015a)
- ❑ FREITAS, J.C.J.; JULIA, S. Fuzzy Time Constraint propagation mechanism for Workflow nets. In: 12th International Conference on Information Technology - New Generations, 2015. p. 367-372. (FREITAS; JULIA, 2015)
- ❑ PASSOS, L.M.S.; JULIA, S. Deadlock-freeness scenarios detection in Web service composition. In: International Conference on Information Technology - New Generations, 2015, Las Vegas. p. 780-783. (PASSOS; JULIA, 2015a)
- ❑ PASSOS, L.M.S.; JULIA, S. Linear logic as a Tool for weak soundness verification for interorganizational workflow processes. In: 28th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2016, San Jose. p. 514-521. (PASSOS; JULIA, 2016c)

- ❑ REZENDE, L.P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Possibilistic Workflow nets for dealing with cancellation regions in Business Processes. In: 18th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 2016, Rome. v. 2. p. 126-133. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2016a)
  
- ❑ REZENDE, L.P.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Uncertain Marking for dealing with partial parallelization in Business Processes. In: 18th International Conference on Enterprise information Systems (ICEIS), 2016, Rome. v. 2. p. 118-125. (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2016b)
  
- ❑ FREITAS, J.C.J.; JULIA, S. Fuzzy Resource-Constraint Time Workflow Nets. In: 13th International Conference on Information Technology, 2016, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing. Switzerland: Springer. v. 448. p. 543-554. (FREITAS; JULIA, 2016)
  
- ❑ FREITAS, J.C.J.; JULIA, S.; REZENDE, L.P. Modeling a fuzzy resource allocation mechanism based on Workflow nets. In: 18th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 2016, Rome. v. 2. p. 559-566. (FREITAS; JULIA; REZENDE, 2016)
  
- ❑ OLIVEIRA, K.S.; JULIA, S. Using Linear Logic to Verify Requirement Scenarios in Composite Web Service. In: 20th Brazilian Symposium (SBMF), 2017, Recife. Lecture Notes in Computer Science: Formal Methods: Foundations and Applications. p. 215-232. (OLIVEIRA; JULIA, 2017)
  
- ❑ OLIVEIRA, V.F.; JULIA, S.; PASSOS, L.M.S.; OLIVEIRA, K.S. A synchronization rule based on linear logic for deadlock prevention in interorganizational workflow nets. In: Information Technology - New Generations, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, Las Vegas. v. 558. p. 929-934. (OLIVEIRA et al., 2017b)
  
- ❑ OLIVEIRA, V.F.; JULIA, S.; PASSOS, L.M.S.; OLIVEIRA, K.S. A Linear Logic based synchronization rule for deadlock prevention in Web service composition. In: 19th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 2017, Porto. v. 2. p. 316-323. (OLIVEIRA et al., 2017a)
  
- ❑ PASSOS, L.M.S; JULIA, S.; SILVA, F.M. A linear logic based method for deadlock-freeness scenarios monitoring in Web Services Composition. In: IEEE International Conference on Service-Oriented Systems Engineering (SOSE), 2019, San Francisco. p. 77-83. (PASSOS; JULIA; SILVA, 2019)

- REZENDE, L.P.; JULIA, S. Possibilistic workflow net for deadlock avoidance in interorganizational business processes. *Lecture Notes in Business Information Processing*, v. 241, p. 168-191, 2015. (REZENDE; JULIA, 2015b)
- FREITAS, J.C.J.; JULIA, S.; REZENDE, L.P. Resource allocation mechanisms and time constraint propagation techniques in fuzzy workflow nets. *Lecture Notes in Business Information Processing*, v. 241, p. 214-235, 2015. (FREITAS; JULIA; REZENDE, 2015b)
- SOARES PASSOS, LÍGIA MARIA; JULIA, STÉPHANE. Linear Logic as a Tool for Qualitative and Quantitative Analysis of Workow Processes. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, v. 25, p. 1650008, 2016. (PASSOS; JULIA, 2016b)

## 5.7 Pesquisa no âmbito da Modelagem de Sistemas Híbridos

### 5.7.1 Introdução

A primeira proposta de pesquisa que o meu orientador de Tese me apresentou no início de meu Doutorado era na área de modelagem de Sistemas de Produções Híbridos (modelos matemáticos que combinam variáveis de estado discretas e contínuas). O objetivo era combinar modelos discretos, do tipo autômatos finitos, com modelos contínuos baseados em sistemas de equações diferenciais.

Na época, por motivos práticos diretamente relacionados ao meu projeto de Doutorado sanduíche em um laboratório brasileiro especializado em problemas ligados à Sistemas Flexíveis de Manufatura, não foi possível desenvolver a minha pesquisa de Doutorado na área dos Sistemas Híbridos.

Alguns anos depois da minha defesa de Doutorado, no período de 2005/2007, decidi iniciar uma orientação de Mestrado no contexto da modelagem de Sistemas Híbridos. O objetivo do trabalho era de propor uma abordagem baseada em modelos híbridos para o estudo de processos biológicos.

### 5.7.2 Orientação de Mestrado da Aluna Michele Nasu Tomiyama: Modelagem e Simulação de Processos Biológicos usando Redes de Petri Predicado Transição Diferenciais

Para esse trabalho, são considerados três exemplos de processos biológicos: a Diabetes Mellitus, a infestação simples da malária (com um único tipo de parasita), e a infestação dupla da malária (com dois tipos de parasitas). Um estudo sobre modelos matemáticos usados em biologia permite separar as ferramentas matemáticas mais apropriadas para

realizar o estudo. Em particular, destacam-se as equações diferenciais, os autômatos híbridos, e as redes de Petri.

Para a modelagem dos três exemplos são utilizadas as redes de Petri predicados transições diferenciais. Os processos biológicos são então quebrados em duas partes. A primeira, associada ao aspecto contínuo do modelo, é baseada em um conjunto de equações diferenciais; a segunda, associada ao aspecto discreto do modelo, é representada por uma rede de Petri. As equações diferenciais fornecem as evoluções contínuas das variáveis de estados contínuas, ao passo que as redes de Petri monitoram o acionamento de cada conjunto de equações diferenciais através de eventos discretos.

Os modelos construídos podem ser simulados utilizando a linguagem de programação do MatLab. O MatLab apresenta a capacidade de resolução de equações diferenciais e fornece os resultados através de gráficos. Em particular, com os gráficos fornecidos por tal ferramenta, é possível realizar uma análise quantitativa dos modelos construídos (estudo das variáveis de estado em função do tempo).

Através dos estudos realizados, conclui-se que, para uma ferramenta de modelagem ser aplicável na representação de processos biológicos (que são um tipo de sistemas híbridos), ela deve considerar uma interface entre um modelo contínuo e um modelo discreto, de modo a permitir uma grande expressividade tanto na parte contínua do sistema quanto na parte discreta. A rede de Petri predicado transição diferencial utilizada nesse trabalho é um exemplo de modelo onde se procura conservar as características iniciais dos dois modelos: as redes de Petri, para a parte discreta, e as equações diferenciais, para a parte contínua.

### **5.7.3 Resultados Científicos relacionados ao tema sobre modelagem de Sistemas Híbridos e à Orientação de Mestrado da Aluna Michele Nasu Tomiyama**

Publicação de uma Dissertação de Mestrado:

- ❑ Autora: Michele Nasu Tomiyama. Título: Modelagem e Simulação de Processos Biológicos usando Redes de Petri Predicado Transição Diferenciais. Ano: 2007. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Artigos em Congressos Científicos:

- ❑ TOMIYAMA, M.N.; JULIA, S. Modelling Biological Process using Differential Predicate Transition Petri Nets. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2007, Montreal. (TOMIYAMA; JULIA, 2007)
- ❑ VALE, L.N.; SILVA, N.R.; DIAS, M.S.; JULIA, S. Simulation of Industrial Metabolism using Predicate Transition Petri Nets combined with Differential equations.

In: ICNPAA 2010 World Congress: 8th International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, 2010, São José dos Campos, Brazil. p. 551-559. (VALE et al., 2010)

## 5.8 Pesquisa no âmbito da Modelagem de Algoritmos Paralelos utilizados em Inteligência Artificial

### 5.8.1 Introdução

Dentre as várias abordagens consagradas para análise de desempenho de algoritmos em termos de tempo de execução, destacam-se a análise assintótica, as técnicas de recorrências e a análise probabilística. Entretanto, há algoritmos que apresentam certas peculiaridades que tornam o uso dessas técnicas puramente matemáticas de avaliação de desempenho inadequadas ou excessivamente árduas. É o caso dos algoritmos usados em Inteligência Artificial cujo tempo de execução pode variar significativamente para um mesmo dado de entrada em função da dinâmica de execução (algoritmos com comportamento não-preditivo). O mesmo acontece no caso de algoritmos distribuídos em que, dependendo da complexidade da política de distribuição utilizada, a avaliação por meio de métodos analíticos do efeito de um gradual incremento de processadores no seu tempo de execução pode tornar-se impraticável. Em situações como essas, a fim de evitar a alta complexidade matemática envolvida na análise de desempenho desses algoritmos, algumas alternativas baseadas em métodos empíricos ou em modelagem visual vêm sendo adotadas pelos pesquisadores. Contudo, ambas alternativas apresentam inconvenientes: no caso dos métodos empíricos, eles requerem a implementação dos algoritmos analisados, o que tem um efeito perverso particularmente no caso dos algoritmos distribuídos, uma vez que eles demandam a aquisição prévia de dispendiosos recursos de hardware de multi-processamento, antes mesmo de saber se a proposta de distribuição investigada, de fato, vale a pena. Já as abordagens baseadas em modelos visuais utilizadas (baseadas essencialmente em grafos, autômatos e Unified Modeling Language - UML) não contam com os recursos dinâmicos necessários para lidar com a avaliação do tempo de execução dos algoritmos com comportamento não-preditivo. Neste cenário, a referida proposta propõe uma abordagem formal e visual para avaliar o tempo de execução de algoritmos baseada em simulações automáticas de modelos de redes de Petri Coloridas Hierárquicas (RdPCH) no ambiente gráfico CPN Tools. A abordagem proposta é baseada no cálculo da função de complexidade e do tempo de execução para os algoritmos não-preditivos, bem como na noção de *speedup*, no caso de algoritmos distribuídos.

Tal trabalho de pesquisa foi desenvolvido em colaboração com uma pesquisadora do grupo de Inteligência Artificial da Faculdade de Computação, a Professora Doutora Rita Maria da Silva Julia, no período de 2014 a 2017.

## 5.8.2 Co-orientação de Doutorado do Aluno Clarimundo Machado Moraes Júnior: Uma abordagem para avaliar o desempenho de algoritmos baseada em simulações automáticas de modelos de redes de Petri coloridas hierárquicas (RdPCH)

A orientação principal deste trabalho foi realizada pela Professora Doutora Rita Maria da Silva Julia. Como co-orientador da proposta, atuei, em particular, na parte relacionada à modelagem por redes de Petri Coloridas de algoritmos não-preditivos e distribuídos utilizados em Inteligência Artificial.

O trabalho apresenta uma abordagem baseada em simulações de modelos de RdPCH que permite a avaliação do desempenho de algoritmos seriais e distribuídos, sem a necessidade de implementá-los. Com a criação dos modelos é possível reproduzir de forma eficaz, por meio de simulações automáticas de diversos cenários completos, os tempos de execução de algoritmos usados como estudo de casos. São considerado, em particular, algoritmos com complexas estruturas de comandos, processados de forma serial e distribuída, com comportamento preditivo e não-preditivo. O uso de modelos baseados em RdPCH permite uma representação estrutural compacta e intuitiva, facilitando a criação e a adequação dos mesmos. Para reproduzir diversos cenários de processamento, escolheu-se o ambiente CPN Tools, que, além de ser muito eficaz por disponibilizar recursos gráficos úteis para a apresentação visual dos modelos, provê técnicas de simulação que permitam a obtenção de tempos de execução dos cenários.

Na realização da primeira etapa desse trabalho, as RdPCH são usada para modelar corretamente a estrutura dos comandos e dos fluxos de controles do algoritmo de busca serial Minimax (BOROVSKA; LAZAROVA, 2007). Além disso, o uso de recursos como cores, condições de guarda, inscrições em arcos, lugares de fusão, transições abstratas, declarações de tipos complexos de dados, funções de controle e variáveis locais, permite o acompanhamento da dinâmica do Minimax no modelo. Para calcular o tempo de execução são necessárias diversas simulações automáticas do modelo através do ambiente CPN Tools. Tal ambiente permite a associação de um operador de tempo em várias partes do modelo e contabiliza de forma correta os tempos gastos em cada cenário considerado. Em especial, para tornar mais amplo o escopo de aplicação da abordagem sugerida nessa etapa, os cenários simulados consideram a exploração de árvores não-uniformes. Isto só é possível porque o CPN Tools permite utilizar nos modelos determinadas funções estocásticas nativas da linguagem Standard ML. A validação desta etapa consiste então na comparação entre a curva da função de complexidade obtida teoricamente na literatura e a curva obtida experimentalmente por meio das simulações do modelo. Tais curvas apresentam um comportamento muito próximo entre elas, confirmando assim a corretude do método proposto.

Considerando os resultados referentes à segunda etapa deste trabalho, utiliza-se como estudo de caso o algoritmo de busca serial Alpha-Beta (SCHAEFER; PLAAT, 1996), que possui a mesma complexidade estrutural de comandos do algoritmo Minimax acrescida de um comportamento não-preditivo dos seus tempos de execução. Portanto, além dos recursos usados na primeira etapa, e que são fundamentais para modelar o algoritmo Alpha-Beta, o uso de funções estocásticas permite a representação da ocorrência de podas existentes nele. A validação da abordagem feita nessa etapa consiste na comparação dos tempos de execução reais do algoritmo em diversos cenários com os tempos de execução extraídos nas simulações dos modelos para os mesmos cenários. As curvas obtidas em ambos os casos mostram-se estatisticamente próximas. É importante destacar que os modelos desta etapa utilizam operadores de tempo reais que também estão disponíveis no ambiente CPN Tools.

Por fim, numa terceira etapa são calculados, experimentalmente, os valores do *speedup* e da eficiência do algoritmo de busca distribuída PVS (BROCKINGTON, 1998) com comportamento preditivo. A representação da política de distribuição exigida na modelagem desse algoritmo é realizada por meio das RdPCH cujas simulações são realizadas no ambiente CPN Tools. O recurso de declaração de variáveis globais de tal ambiente é primordial para representar as sincronizações dos processadores considerados nos cenários simulados. Tais simulações, isentas da necessidade da implementação do algoritmo distribuído PVS, produzem resultados que confirmam as principais características do algoritmo já sinalizadas em outros trabalhos científicos.

### 5.8.3 Resultados Científicos relacionados à Orientação de Doutorado do Aluno Clarimundo Machado Moraes Júnior

Publicação de uma Tese de Doutorado:

- Autor: Clarimundo Machado Moraes Júnior. Título: Uma abordagem para avaliar o desempenho de algoritmos baseada em simulações automáticas de modelos de redes de Petri coloridas hierárquicas. Ano: 2017. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientadora: Rita Maria da Silva Julia. Co-orientador: Stéphane Julia.

Publicação de Artigos em Congressos Científicos:

- MORAES JÚNIOR, C.M.; JULIA, R.M.S.; JULIA, S. Modeling Recursive Search Algorithms by means of Hierarchical Colored Petri nets and CPN Tools. In: 12th International Conference on Information Technology - New Generation. Las Vegas. 2015. p. 788-791. (JÚNIOR; JULIA; JULIA, 2015)
- MORAES JÚNIOR, C.M.; JULIA, R.M.S.; JULIA, S.; SILVA, L.F. A new approach to evaluate the complexity function of algorithms based on simulations of hierarchical colored Petri net Models. In: Information Technology - New Generations,

Advances in Intelligent Systems and Computing. Las Vegas. 2017. v. 558. p. 555-564. (JÚNIOR et al., 2017)

## 5.9 Pesquisa no âmbito das Orientações em andamento

Atualmente, oriento duas alunas de Doutorado. Uma das orientações é na área de Modelagem e Análise de *Video Games*; a outra trata da Verificação de Requisitos funcionais e não-funcionais em Arquiteturas Orientadas a Serviços (SOA).

### 5.9.1 Orientação de Doutorado e Mestrado da Aluna Franciny Medeiros Barreto: Redes de Petri para Modelagem, Análise e Simulação de *Video Games*

Essa pesquisa tem por objetivo propiciar, por meio de modelos formais baseados em redes de Petri, a representação formal e a análise de cenários de *Video Games* considerando fatores de temporização, itens/objetos de jogo, e cenários de níveis de jogos (quests) com um ou mais jogadores. O propósito de tal abordagem é identificar problemas ainda em fase de projeto, antes de o jogo ser, de fato, desenvolvido.

O primeiro objetivo da pesquisa é a apresentação de um método para a verificação de modelos de cenários de jogos, utilizando, para tanto, além do formalismo das redes de Petri, ferramentas computacionais baseadas em redes de Petri Coloridas (CPN Tools). Inicialmente devem ser definidos os modelos a serem elaborados para a representação dos cenários de *Video games*. Pretende-se, em particular, explorar tipos específicos de redes de Petri como as WorkFlow nets e os grafo de estados. Pretende-se também apresentar um método qualitativo baseado nas boas propriedades das redes de Petri para a verificação do conceito de jogabilidade (*GamePlay*). A fim de validar o método proposto, pretende-se usar um jogo conhecido como estudo de caso. O primeiro objetivo da pesquisa foi concluído e apresentado em 2015 na dissertação de Mestrado da Franciny Medeiros Barreto (BARRETO, 2015).

O segundo objetivo consiste em definir um modelo temporizado de cenários de jogos baseado em modelos de redes de Petri temporizadas para estimar a duração do jogo. No caso de jogos que possuem tempos de atividades não determinísticos, tempos de sensibilidade baseados em distribuições de probabilidade (como a distribuição exponencial e a distribuição uniforme por exemplo) podem ser associados às transições do modelo. Ferramentas de simulação do CPN Tools que permitem a replicação automática de cenários aleatórios devem então ser exploradas para calcular um valor estimado do tempo de jogo.

O terceiro objetivo busca definir um modelo baseado nas redes de Petri para formalizar cenários de jogos *multiplayers*. Em um cenário de jogo *multiplayers* existe a presença de

vários jogadores que colaboram para a realização de um objetivo comum. Portanto, para esse tipo de sistema, é necessário definir um modelo que considere as interações e as colaborações entre os diversos jogadores, explorando, por meio de simulações, a influência que um jogador tem sobre um outro quando são consideradas atividades compartilhadas por dois ou mais jogadores.

Na sequência são apresentados os resultados parciais resultantes deste trabalho de pesquisa.

- BARRETO, F. M.; JULIA, S. Modeling and analysis of video games based on Workflow nets and State Graphs. In: CASCON, 2014, Toronto. p. 106-119. (BARRETO; JULIA, 2014)
- Autora: Franciny Medeiros Barreto. Título: Modelagem e análise de video games baseadas em Workflow nets e grafos de estado. Ano: 2015. Local: Universidade Federal de Uberlândia. Orientador: Stéphane Julia (Mestrado). (BARRETO, 2015)
- BARRETO, F. M.; JULIA, S. Modeling of Video Games Using Workflow Nets and State Graphs. In: the 31st Brazilian Symposium on Software Engineering, 2017, Fortaleza. p. 261-266. (BARRETO; JULIA, 2017)
- BARRETO, F.M.; FREITAS, J.C.J.; JULIA, S. A timed Petri net model to specify scenarios of video games. In: Information Technology - New Generations, 2018, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing. v. 738. p. 467-473. (BARRETO; FREITAS; JULIA, 2018)
- BARRETO, F.M.; REZENDE, L.P.; JULIA, S. An approach based on possibilistic Workflow nets to model multiplayer video games. In: Information Technology - New Generations, 2018, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing. v. 738. p. 509-515. (BARRETO; REZENDE; JULIA, 2018)

### **5.9.2 Orientação de Doutorado da Aluna Kênia Santos de Oliveira: Cálculo dos Sequentes da Lógica Linear Aplicado às WorkFlow nets para Verificação de Requisitos em Arquiteturas Orientadas a Serviços**

A pesquisa apresentada em tal proposta tem como objetivo geral utilizar WorkFlow nets interorganizacionais para representar uma proposta de arquitetura do tipo SOA (Arquiteturas Orientadas a Serviços) e verificar se os cenários obtidos no modelo de especificação de requisitos (modelo público) serão reproduzidos no modelo de arquitetura (modelo privado). Para que esse objetivo seja alcançado, os modelos que representam os requisitos e a arquitetura precisam ser, de alguma forma, comparados. Para comparar modelos de

processos, é necessário assumir que esses modelos possuem um tipo de semântica operacional, o que requer a necessidade de assumir a existência de alguma noção de equivalência. Assim, uma noção de equivalência de semântica operacional entre modelos de processos baseados em WorkFlow net deve ser apresentada, de forma que os modelos que representam os requisitos e a arquitetura possam ser comparados. Para isso, deve ser considerada nesse trabalho a noção de equivalência do tipo bissimulação *branching* (BASTEN, 1996). Bissimulação *branching* é uma variação de bissimulação que distingue comportamentos observáveis (externos) de comportamentos silenciosos (internos).

Além da definição de uma noção de equivalência de uma semântica operacional, é preciso definir também um algoritmo de verificação da equivalência em relação aos requisitos funcionais, no que se refere ao comportamento dos modelos. Em um modelo de arquitetura, provavelmente existirão comportamentos adicionais, não previstos no modelo de requisitos, que poderão levar eventualmente o sistema a situações não previstas no modelo de especificação de requisitos, como por exemplo situações de *deadlock*. No entanto, mesmo que exista uma situação de *deadlock* entre dois serviços que se comunicam, podem existir vários cenários que permitem que esses serviços finalizem e que o conjunto de cenários existentes no modelo privado seja suficiente para cobrir os requisitos especificados no modelo público. Assim, o método proposto deve permitir a verificação dos requisitos no modelo de arquitetura (modelo privado) tanto em processos *sound* (nenhuma atividade morta) quanto não *sound* (algumas atividades mortas eventualmente). Nos casos não *sound*, deverão ser consideradas as variantes do critério *Soundness* que são: *Relaxed Soundness* e *Weak Soundness*.

Além dos requisitos funcionais, pretende-se também verificar requisitos não funcionais, particularmente o requisito relativo ao desempenho de um sistema. Nesse caso, poderão ser verificados os tempos de respostas relacionados às atividades dos processos considerando versões temporizadas dos modelos públicos e privados.

Na sequência são apresentados os resultados parciais resultantes deste trabalho de pesquisa.

- OLIVEIRA, K.S.; JULIA, S. Using Linear Logic to Verify Requirement Scenarios in Composite Web Service. In: 20th Brazilian Symposium, SBMF 2017, 2017, Recife. Lecture Notes in Computer Science: Formal Methods: Foundations and Applications. p. 215-232. (OLIVEIRA; OLIVEIRA; JULIA, 2017)
- OLIVEIRA, K.S.; JULIA, S; OLIVEIRA, V.F. Requirement Verification in SOA Models based on Interorganizational Workflow Nets and Linear Logic. In: Information Technology - New Generations, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, Las Vegas. v. 558. p. 579-587. (OLIVEIRA; JULIA; OLIVEIRA, 2017)

- ❑ OLIVEIRA, V.F.; JULIA, S.; PASSOS, L.M.S. ; OLIVEIRA, K.S. A synchronization rule based on linear logic for deadlock prevention in interorganizational workflow nets. In: Information Technology - New Generations, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, Las Vegas. v. 558. p. 929-934. (OLIVEIRA et al., 2017b)
- ❑ OLIVEIRA, V.F.; JULIA, S.; PASSOS, L.M.S.; OLIVEIRA, K.S. A Linear Logic based synchronization rule for deadlock prevention in Web service composition. In: 19th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 2017, Porto. v. 2. p. 316-323. (OLIVEIRA et al., 2017a)
- ❑ OLIVEIRA, K.S.; OLIVEIRA, V.F.; JULIA, S. Using Linear Logic to verify requirement scenarios in SOA models based on Interorganizational Workflow nets relaxed sound. In: 19th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 2017, Porto. v. 2. p. 254-262. (OLIVEIRA; OLIVEIRA; JULIA, 2017)
- ❑ OLIVEIRA, K.S.; JULIA, S. Using symbolic dates of the linear logic to verify performance requirements in SOA models. In: 16th International Conference on Information Technology - New Generations (ITNG 2019), 2019, Las Vegas. Advances in Intelligent Systems and Computing 800. New York City: Springer. p. 191-197. (OLIVEIRA; JULIA, 2019)

## 5.10 Internacionalização da Pesquisa

No decorrer das minhas atividades de pesquisa, desde o início da minha tese de Doutorado, sempre mantive diversas colaborações científicas internacionais, principalmente com:

- ❑ Professor Maurizio Tazza do antigo CPGEI/CEFET-PR (pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná), com quem eu realizei uma parte do meu trabalho de Doutorado no Brasil, em particular com a minha participação no Projeto de pesquisa RHAE-CNPq intitulado “Analytice” na função de bolsista Pesquisador Visitante Estrangeiro;
- ❑ Pesquisador Robert Valette do LAAS-Toulouse-França (Laboratoire d’Analyse et d’Architecture des Systèmes) com quem, depois do meu Doutorado, mantive uma colaboração ativa, em particular na execução do Projeto MEC Professor Visitante Estrangeiro intitulado “Controle em Tempo Real de Sistemas Flexíveis de Manufatura” e do Projeto Universal FAPEMIG intitulado "Uma abordagem UML/Redes de Petri para a verificação de cenários de SistemasTempo Real";

- Pesquisador Dra. Janete Cardoso do ISAE-Toulouse (Instituto Superior da Aeronáutica e do Espaço na França) que participou do Projeto de Pesquisa Universal FAPEMIG, por mim coordenado, intitulado “Modelagem, Análise e Monitoramento de processos de negócio flexíveis utilizando as Workflow nets e Lógicas não clássicas”, e que co-orientou a minha aluna de Doutorado Leiliane Pereira de Rezende no contexto de um Doutorado sanduíche na França.

Um ponto relevante das produções científicas apresentadas neste memorial que deve também ser destacado é o fato de diversos artigos terem sido produzidos em parceria com pesquisadores de instituições estrangeiras (JULIA; FRANCIELLE; VALETTE, 2008) (SOARES; JULIA; VRANCKEN, 2008) (JULIA; VALETTE, 2000) (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2016b) (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2016a) (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2014) (REZENDE; JULIA; CARDOSO, 2012a) (JESKE; JULIA; VALETTE, 2009) (JESKE; JULIA; VALETTE, 2006) (JULIA; VALETTE, 1999) (JULIA; VALETTE; FERNANDES, 1998) (JULIA et al., 1998) (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1995b) (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1995a) (JULIA; VALETTE; JULIA, 1995) (JULIA; VALETTE; TAZZA, 1994).



---

## Conclusão

Considerando o fato de que, no momento da minha entrada como Professor do Magistério Superior na Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, havia unicamente um curso de graduação em Ciência da Computação com uma entrada semestral para 30 alunos, acredito ter tido a oportunidade de participar das principais e mais importantes atividades acadêmicas inerentes a uma Instituição Superior cuja meta principal seja a criação de uma estrutura de base sólida e completa para o ensino, a pesquisa e a extensão nos domínios da Computação.

No contexto das minhas atividades ligadas ao ensino, participei da elaboração de dois projetos pedagógicos (Projeto Pedagógico do curso de Bacharelado em Ciência da Computação e Projeto Pedagógico do curso de Doutorado em Ciência da Computação), fui orientador principal de 3 alunos de doutorado e de 15 alunos de mestrado, bem como ministrei, em diversos cursos de graduação e pós-graduação, disciplinas de programação, de modelagem computacional e de matemática para a computação.

Com relação a minhas atividades administrativas, participei de quase todos os tipos de conselhos Universitários e de Faculdade que existem na Universidade Federal de Uberlândia, sendo que desde o ano de 2017, exerço a função de Coordenador do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação.

No que se refere a minhas atividades de pesquisa, coordenei 3 Projetos de Pesquisa com financiamentos de órgãos de fomento público, divulguei os meus resultados de pesquisa por meio de 60 artigos científicos publicados em anais de congressos de computação nacionais e internacionais, e publiquei uma dezena de artigos em periódicos internacionais qualificados, sendo que a quase totalidade desses trabalhos foi publicada em veículos com muito bom nível de avaliação de qualidade pelos comitês da CAPES.

Finalmente, no contexto de trabalhos de extensão, participei de 2 projetos RHAE-CNPq e de 1 projeto CTBC TELECOM (maior empresa de telecomunicação da região) cujo foco principal era o desenvolvimento tecnológico e a inserção de abordagens científicas inovadoras nas empresas privadas.

Em relação às minhas atividades futuras a serem desenvolvidas dentro da estrutura

da Universidade Federal de Uberlândia, considerando a expansão exponencial do tema da computação em todos os setores da sociedade humana, acredito que poderei participar, ativamente, de novos desafios que evidentemente surgirão tanto na parte da educação - com a criação de novos cursos relacionados às inovações futuras da computação - quanto na parte da pesquisa e extensão, por meio da coordenação/participação em novos projetos de caráter público e/ou privado.

Dessa forma, pretendo continuar a participar das atividades gerais da Faculdade de Computação e da Universidade Federal de Uberlândia, de modo a dar prosseguimento à minha contribuição para o bom funcionamento dessa instituição de ensino superior que, do meu ponto de vista, empenha um grande esforço para atingir um elevado patamar de qualidade no ensino superior público.

Finalmente, espero que aparecerão oportunidades de participar mais ativamente de atividades que aproximem a Universidade das reais demandas de uma sociedade cada vez mais ávida por uma robusta estrutura de apoio à utilização das ferramentas de Tecnologia da Informação que respaldam quase todos os aspectos da vida moderna.

---

## Referências

- AALST, W. M. V. D.; HEE, K. V. **Workflow Management: Models, Methods, and Systems (Cooperative Information Systems)**. Cambridge, United Kingdom: The MIT Press, 2004.
- AALST, W. V. D. et al. Workflow patterns. **Distributed and Parallel Databases**, v. 14, n. 14, p. 5–51, 2003.
- AHO, A. V.; HOPCROFT, J. E. **The Design and Analysis of Computer Algorithms**. Boston, United States: Addison-Wesley Professional, 1974.
- ASCENCIO, A. F. G.; CAMPOS, E. A. V. D. **Fundamentos da Programação de Computadores**. São Paulo, Brasil: Prentice Hall, 2008.
- BARRETO, F. M. **Modelagem e análise de video games baseadas em Workflow nets e grafos de estado**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Computação, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.
- BARRETO, F. M.; FREITAS, J. C. J. D.; JULIA, S. A timed Petri net model to specify scenarios of video games. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: SPRINGER, 2018. p. 467–473.
- BARRETO, F. M. et al. A straightforward introduction to formal methods using coloured Petri nets. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Lisbon, Portugal: SCITEPRESS, 2014. p. 145–152.
- BARRETO, F. M.; JULIA, S. Modeling and analysis of video games based on Workflow nets and state graphs. In: **International Conference on Computer Science and Software Engineering**. Toronto, Canada: ACM DL, 2014. p. 106–119.
- \_\_\_\_\_. Modeling of video games using Workflow nets and state graphs. In: **Brazilian Symposium on Software Engineering**. Fortaleza, Brazil: ACM DL, 2017. p. 261–266.
- BARRETO, F. M.; REZENDE, L. P. D.; JULIA, S. An approach based on possibilistic Workflow nets to model multiplayer video games. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: SPRINGER, 2018. p. 509–515.
- BASTEN, T. Branching bisimilarity is an equivalence indeed. **Information Processing Letter**, v. 58, n. 3, p. 141–147, 1996.

- BOLLOBAS, B. **Modern Graph Theory**. New York, United States: Springer, 1998.
- BONDY, J. A.; MURTY, U. **Graph Theory With Applications**. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science Ltd, 1976.
- BOROVSKA, P.; LAZAROVA, M. Efficiency of parallel minimax algorithm for game tree search. In: **International Conference on Computer Systems and Technologies**. New York, USA: ACM, 2007. p. 1–6.
- BROCKINGTON, M. **Asynchronous Parallel Game Tree Search**. Tese (Doutorado) — University of Alberta, Alberta, Canada, 1998.
- CAPRON, H. L.; JOHNSON, J. A. **Introdução à Informática**. São Paulo, Brasil: Pearson, 2004.
- CARDOSO, J.; VALETTE, R. **Redes de Petri**. Florianópolis, Brasil: Ed UFSC, 1997.
- CARDOSO, J.; VALETTE, R.; DUBOIS, D. Possibilistic petri nets. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B**, v. 29, n. 5, p. 573–582, 1999.
- CLARKE, A. B.; DISNEY, R. L. **Probability and Random Processes: A First Course with Applications**. New Jersey, United States: Springer, 1985.
- COHEN, D. I. A. **Introduction to Computer Theory**. New Jersey, United States: John Wiley and Sons, 1996.
- CORMEN, T. H. et al. **Algoritmos: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier Editora Ltda, 2002.
- COURVOISIER, M.; VALETTE, R. **Commande des procédés discontinus : Logique séquentielle**. Paris, France: Bordas Editions, 1993.
- DAVID, R.; ALLA, H. **Petri Nets and Grafcet: Tools for Modelling Discrete Event Systems**. New Jersey, United States: Prentice-Hall, 1992.
- \_\_\_\_\_. **Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets**. New York, United States: Springer, 2010.
- FARRER, H.; AL. **Algoritmos Estruturados**. Rio de Janeiro, Brasil: LTC Editora, 1999.
- FRANCIELLE, F. **Problema do escalonamento em tempo real dos sistemas de gerenciamento de workflow baseado em um modelo de rede de Petri híbrida p-temporal**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Computação, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.
- FRANCIELLE, F.; JULIA, S. Software architecture for the real time scheduling of workflow management systems based on a Petri net model. In: **Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software**. São Paulo, Brazil: SBA, 2006. p. 1–16.
- FREITAS, J. C. J. D.; JULIA, S. Fuzzy time constraint propagation mechanism for Workflow nets. In: **International Conference on Information Technology: New Generations**. Las Vegas, USA: Springer, 2015. p. 367–372.

\_\_\_\_\_. Fuzzy resource-constraint time Workflow nets. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: Springer, 2016. p. 543–554.

FREITAS, J. C. J. D.; JULIA, S.; REZENDE, L. P. D. Fuzzy resource allocation mechanisms in Workflow nets. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Barcelona, Spain: SCITEPRESS, 2015. p. 471–478.

\_\_\_\_\_. Resource allocation mechanisms and time constraint propagation techniques in fuzzy Workflow nets. **Lecture Notes in Business Information Processing**, v. 241, n. 1, p. 214–235, 2015.

\_\_\_\_\_. Modeling a fuzzy resource allocation mechanism based on Workflow nets. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Rome, Italy: SCITEPRESS, 2016. p. 559–566.

GIRAULT, F.; PRADIN-CHÉZALVIEL, B.; VALETTE, R. A logic for petri nets. **Journal Européen des Systèmes Automatisés**, v. 31, n. 3, p. 525–542, 1997.

GONDRAM, M.; MINOUX, M. **Graphs and Algorithms**. New Jersey, United States: Wiley, 1984.

G.ROBERTAZZI, T. **Computer Networks and Systems: Queueing Theory and Performance Evaluation**. New York, United States: Springer, 2000.

JENSEN, K.; KRISTENSEN, L. M. **Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems**. New Jersey, United States: Springer, 2009.

JESKE, J. C. **Mecanismo de alocação de recursos fuzzy para sistemas de gerenciamento de workflow**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Computação, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

JESKE, J. C.; JULIA, S.; VALETTE, R. Fuzzy continuous resource allocation mechanisms in workflow management systems. In: **IEEE International Conference on Information reuse and integration**. Hawaii, USA: IEEE, 2006. p. 472–477.

\_\_\_\_\_. Fuzzy continuous resource allocation mechanisms in workflow management. In: **Brazilian Symposium on Software Engineering**. Fortaleza, Brazil: SBC, 2009. p. 472–477.

\_\_\_\_\_. A model to represent human behavior in workflow management systems. In: **International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences**. San José dos Campos, Brazil: Cambridge Scientific Publishers, 2010. p. 385–392.

JULIA, S. **Conception et Pilotage de Cellules Flexibles à fonctionnement répétitif modélisées par Réseaux de Petri**. Tese (Doutorado) — Paul Sabatier University, Toulouse, France, 1997.

JULIA, S. Da concepção ao controle em tempo real de sistemas flexíveis de manufatura usando as redes de Petri. In: **XII Congresso Brasileiro de Automática**. Uberlândia, Brasil: Mini Cursos do XII CBA, 1998. p. 1–35.

\_\_\_\_\_. Scheduling flexible manufacturing cells using a token player algorithm. In: **5TH IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems**. Gramado, Brazil: IFAC, 1998. p. 193–198.

JULIA, S.; FRANCIELLE, F. A p-time hybrid Petri net model for the scheduling problem of workflow management systems. In: **IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**. The Hague, Netherlands: IEEE, 2004. p. 4947–4952.

JULIA, S.; FRANCIELLE, F.; VALETTE, R. Real time scheduling of workflow management systems based on a p-time Petri net model with hybrid resources. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 16, n. 1, p. 462–482, 2008.

JULIA, S.; JÚNIOR, C. M. M. Escalonamento de sistemas de produção por lotes usando-se um mecanismo de retrocesso inteligente. In: **Quarto Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**. São Paulo, Brasil: sba, 1999. p. 521–526.

\_\_\_\_\_. Scheduling batch systems using a Petri net model and an intelligent backtrack mechanism. In: **IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**. Nashville, USA: IEEE, 2000. p. 3110–3115.

JULIA, S.; JÚNIOR, S. B. Object oriented software architecture design based on UML/Petri net approach for deadlock prevention of real time systems. In: **International Conference on Computer Science, Software Engineering, Information Technology, e-Business, and Applications**. Rio de Janeiro, Brazil: Springer, 2003. p. 60–65.

\_\_\_\_\_. Object oriented software architecture design based on UML/Petri net approach for deadlock prevention of real time systems. **Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering**, v. 5, n. 1, p. 67–83, 2005.

JULIA, S.; KANACILO, E. M. An approach based on dynamic UML diagrams and on a token player algorithm for the scenario verification of real time systems. In: **European Simulation Symposium**. Dresden, Germany: SCS, 2002. p. 377–381.

\_\_\_\_\_. An UML/Petri net approach for scenario verification of real time systems. In: **Brazilian Petri Net Meeting**. Natal, Brazil: SBC, 2002. p. 60–65.

JULIA, S.; SOARES, M. D. S. Verification of real time UML specifications through a specialized inference mechanism based on a token player algorithm and the sequent calculus of linear logic. In: **European Simulation Symposium**. Delft, Netherlands: SCS European Publishing House, 2003. p. 65–70.

\_\_\_\_\_. Centralized architecture for real time scheduling of batch systems. In: **IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing**. Salvador da Bahia, Brazil: ScienceDirect, 2004. p. 485–490.

JULIA, S.; VALE, L. D. N.; PASSOS, L. M. S. Functional testing using object workflow nets. **Computing and Informatics**, v. 35, n. 1, p. 719–743, 2016.

JULIA, S.; VALETTE, R. Modeling and analysis of a flexible cell under a set of cyclic constraints. **Automatique Productique Informatique Industrielle**, v. 31, n. 8, p. 1275–1296, 1997.

\_\_\_\_\_. Simulation en temps réel pour l'aide au pilotage des systèmes hybrides. In: **Deuxième Conférence Francophone de Modélisation et Simulation**. Annecy, France: MOSIM'99, 1999. p. 285–290.

\_\_\_\_\_. Real time scheduling of batch systems. **Simulation Practice and Theory**, v. 8, n. 1, p. 307–319, 2000.

JULIA, S.; VALETTE, R.; FERNANDES, J. M. Scheduling batch systems using a token player algorithm. In: **IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**. San Diego, USA: IEEE SMC, 1998. p. 487–492.

JULIA, S.; VALETTE, R.; JULIA, R. M. D. S. Análise sob restrições baseadas em Petri de petri de uma célula flexível de manufatura. In: **Segundo Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**. Curitiba, Brazil: SBA, 1995. p. 243–248.

JULIA, S. et al. Escalonamento de sistemas de produção híbridos usando-se um jogador de rede de Petri. In: **XII Congresso Brasileiro de Automática**. Uberlândia, Brasil: sba, 1998. p. 397–402.

JULIA, S.; VALETTE, R.; TAZZA, M. Analysis of the behavior of a manufacturing cell with cyclic feeding policies. In: **IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**. San Antonio, USA: IEEE, 1994. p. 1683–1688.

\_\_\_\_\_. Analysis of manufacturing cell under a set of cyclic constraints. In: **38TH Midwest Symposium on Circuits and Systems**. Rio de Janeiro, Brazil: IEEE, 1995. p. 23–26.

\_\_\_\_\_. Computing a feasible schedule under a set of cyclical constraints. In: **Second International Conference on Industrial Automation**. Nancy, France: [s.n.], 1995. p. 141–146.

JULIA, S.; VILLANI, E. Sistemas de produção híbridos. In: \_\_\_\_\_. **Enciclopédia de automática - Controle e Automação**. São Paulo, Brazil: Editora Blucher, 2008. p. 333–357.

JÚNIOR, C. M. M. **Escalonamento de Sistemas de Produção Híbridos usando uma Rede de Petri p-temporal t-temporizada com mecanismo de retrocesso inteligente**. Dissertação (Mestrado) — Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2000.

JÚNIOR, C. M. M.; JULIA, R. M. D. S.; JULIA, S. Modeling recursive search algorithms by means of hierarchical colored Petri nets and cpn tools. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: SPRINGER, 2015. p. 788–791.

JÚNIOR, C. M. M. et al. A new approach to evaluate the complexity function of algorithms based on simulations of hierarchical colored Petri net models. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: SPRINGER, 2017. p. 555–564.

JÚNIOR, S. B. **Arquitetura de software baseada numa abordagem UML/Redes de Petri com prevenção de bloqueio mortal em sistemas de tempo real**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Computação, Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

KANACILO, E. M. **Uma abordagem para a verificação de cenários de sistemas tempo real baseada em diagramas dinâmicos UML e em um jogador de redes de Petri**. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Computação, Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

LOPES, A.; GARCIA, G. **Introdução à Programação**. Rio de Janeiro, Brasil: Elsevier, 2002.

MEDEIROS, F. F.; JULIA, S. Análise sob restrições baseada em um raciocínio energético para o problema de escalonamento tempo real de sistemas de gerenciamento de workflow. In: **Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**. Brasília, Brazil: SBA, 2009. p. 373–380.

\_\_\_\_\_. Constraint analysis based on energetic reasoning applied to the problem of real time scheduling of workflow management systems. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Porto, Portugal: SCITEPRESS, 2017. p. 373–380.

MENEZES, P. B. **Linguagens Formais E Automatos**. Porto Alegre, Brasil: Sagra, 1997.

MURATA, T. Petri nets: Properties, analysis and applications. **Proceedings of the IEEE**, v. 77, n. 1, p. 541–580, 1989.

OLIVEIRA, G. W. D.; JULIA, S.; PASSOS, L. M. S. Game modeling using Workflow nets. In: **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**. Anchorage, USA: IEEE, 2011. p. 838–843.

OLIVEIRA, K. S. D.; JULIA, S. Using linear logic to verify requirement scenarios in composite Web service. In: **Brazilian Symposium on Formal Methods**. Recife, Brazil: Springer, 2017. p. 215–232.

\_\_\_\_\_. Using symbolic dates of the linear logic to verify performance requirements in soa models. In: **International Conference on Information Technology - New Generations (ITNG) - Advances in Intelligent Systems and Computing**. Las Vegas, USA: Springer, 2019. p. 191–197.

OLIVEIRA, K. S. D.; JULIA, S.; OLIVEIRA, V. F. D. Requirement verification in SOA models based on interorganizational Workflow nets and linear logic. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: Springer, 2017. p. 579–587.

OLIVEIRA, K. S. D.; OLIVEIRA, V. F. D.; JULIA, S. Using linear logic to verify requirement scenarios in SOA models based on interorganizational Workflow nets relaxed sound. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Porto, Portugal: SCITEPRESS, 2017. p. 254–262.

OLIVEIRA, V. F. D. et al. A linear logic based synchronization rule for deadlock prevention in Web service composition. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Porto, Portugal: SCITEPRESS, 2017. p. 316–323.

\_\_\_\_\_. A synchronization rule based on linear logic for deadlock prevention in interorganizational Workflow nets. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: Springer, 2017. p. 929–934.

PAGES-JONES, M. **Fundamentals of Object-Oriented Design in UML**. Boston, United States: Addison-Wesley Professional, 1999.

PASSOS, L. M. S. **Uma metodologia baseada na lógica linear para análise de processos de workflow interorganizacionais**. Tese (Doutorado) — Faculdade de Computação, Universidade de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2016.

PASSOS, L. M. S.; JULIA, S. Análise qualitativa e quantitativa de Workflow nets utilizando lógica linear. In: **Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação**. Brasilia, Brazil: SBC, 2009. p. 24–36.

\_\_\_\_\_. Qualitative analysis of Workflow nets using linear. In: **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**. San Antonio, USA: IEEE, 2009. p. 2922–2926.

\_\_\_\_\_. Qualitative analysis of interorganizational Workflow nets using linear logic: soundness verification. In: **International Conference on Tools with Artificial Intelligence**. Washington, USA: IEEE, 2013. p. 667–673.

\_\_\_\_\_. Linear logic as a tool for deadlock-freeness scenarios detection in interorganizational workflow processes. In: **International Conference on Tools with Artificial Intelligence**. Limassol, Cyprus: IEEE Computer Society, 2014. p. 316–320.

\_\_\_\_\_. Deadlock-freeness scenarios detection in Web service composition. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: Springer, 2015. p. 780–783.

\_\_\_\_\_. Relaxed soundness verification for interorganizational workflow processes. In: **international conference on enterprise information systems**. Barcelona, Spain: SCITEPRESS, 2015. p. 221–228.

\_\_\_\_\_. Deadlock-freeness scenarios detection in Web service composition. In: **International Conference on Information Technology : New Generations**. Las Vegas, USA: Springer, 2016. p. 780–783.

\_\_\_\_\_. Linear logic as a tool for qualitative and quantitative analysis of workflow processes. **International Journal on Artificial Intelligence Tools**, v. 25, n. 3, p. 1650008, 2016.

\_\_\_\_\_. Linear logic as a tool for weak soundness verification for interorganizational workflow processes. In: **International Conference on Tools with Artificial Intelligence**. San José, USA: IEEE Computer Society, 2016. p. 514–521.

PASSOS, L. M. S.; JULIA, S.; SILVA, B. F. M. D. A linear logic based method for deadlock-freeness scenarios monitoring in Web Services Composition. In: **IEEE International Conference on Service-Oriented Systems Engineering**. San Francisco, USA: IEEE, 2019. p. 77–83.

PASSOS, L. M. S. et al. Verification of workflow specifications in UML using automated transformations to WF-nets. In: **Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação**. João Pessoa, Brazil: SBC, 2013. p. 674–685.

PENDER, T. **UML - A Biblia**. Rio de Janeiro, Brasil: Campus, 2004.

- PETRI, C. A. **Kommunikation mit Automaten**. Tese (Doutorado) — Institut für Instrumentelle Mathematik, Bonn, Germany, 1962.
- PRADO, D. **Teoria Das Filas E Da Simulação**. Nova Lima, Brasil: INDG, 1999.
- PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. São Paulo, Brasil: Makron Books, 1995.
- RAMOS, A. L. B.; JULIA, S. Fuzzy token player: Ferramenta de simulação de sistemas de gerenciamento de workflow. In: **XXI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software**. João Pessoa, Brazil: SBC, 2007. p. 33–39.
- REZENDE, L. P. D.; JULIA, S. Deadlock avoidance in interorganizational business processes using a possibilistic Workflow net. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Barcelona, Spain: SCITEPRESS, 2015. p. 429–439.
- \_\_\_\_\_. Possibilistic Workflow net for deadlock avoidance in interorganizational business processes. **Lecture Notes in Business Information Processing**, v. 241, n. 1, p. 168–191, 2015.
- REZENDE, L. P. D.; JULIA, S.; CARDOSO, J. Inconsistency recovery in business processes using a possibilistic Workflow net. In: **International Conference of the Chilean computer science society**. Valparaiso, Chile: IEEE, 2012. p. 41–50.
- \_\_\_\_\_. Possibilistic Workflow nets to deal with non-conformance in process execution. In: **IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**. Seoul, Korea: IEEE, 2012. p. 1219–1224.
- \_\_\_\_\_. Possibilistic interorganizational Workflow net for the recovery problem concerning communication failures. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Lisbon, Portugal: SCITEPRESS, 2014. p. 432–439.
- \_\_\_\_\_. Possibilistic Workflow nets for dealing with cancellation regions in business processes. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Rome, Italy: SCITEPRESS, 2016. p. 118–125.
- \_\_\_\_\_. Uncertain marking for dealing with partial parallelization in business processes. In: **International Conference on Enterprise Information Systems**. Rome, Italy: SCITEPRESS, 2016. p. 118–125.
- SCHAEFER, J.; PLAAT, A. New advances in alpha-beta searching. In: **ACM Annual Conference on Computer Science**. Philadelphia, USA: ACM, 1996. p. 124–130.
- SIBERTIN-BLANC, C. High level petri nets with data structure. In: **European Workshop on Application and Theory of Petri Nets**. Espoo, Finland: Springer, 1985. p. 141–170.
- SILVA, L. D. F. et al. Siphon-based deadlock prevention policy for interorganizational workflow net design. In: **International Conference on Information Reuse and Integration**. San Francisco, USA: IEEE, 2013. p. 293–300.
- SILVA, M.; VALETTE, R. Petri nets and flexible manufacturing. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 424, n. 1, p. 374–417, 1989.

- SIPSER, M. **Introduction to the Theory of Computation**. United Kingdom: PWS, 1996.
- SOARES, M.; JULIA, S.; VRANCKEN, J. Real-time scheduling of batch systems using Petri nets and linear logic. **The Journal of Systems and Software**, v. 81, n. 1, p. 1983–1996, 2008.
- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. São Paulo, Brasil: Pearson, 2000.
- TOMIYAMA, M. N.; JULIA, S. Modelling biological process using differential predicate transition Petri nets. In: **IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics**. Montreal, Canada: IEEE, 2007. p. 1488–1493.
- TRIVEDI, K. S. **Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications**. New Jersey, United States: Wiley, 1982.
- VALE, L. D. N. et al. Simulation of industrial metabolism using predicate transition Petri nets combined with differential equations. In: **International Conference on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences**. San José dos Campos, Brazil: Cambridge Scientific Publishers, 2010. p. 385–392.
- VALETTE, R. Analysis of petri nets by stepwise refinements. **Journal of Computer and Systems Sciences**, v. 18, n. 1, p. 35–46, 1979.
- WEBER, B.; REICHERT, M.; RINDERLE-MA, S. Change patterns and change support features - enhancing flexibility in process-aware information systems. **Data and Knowledge Engineering**, v. 66, n. 1, p. 438–466, 2008.
- WIRTH, N. **Algoritmos e Estruturas de Dados**. Rio de Janeiro, Brasil: LTC Editora, 1989.