

UM LEVANTAMENTO DA PESQUISA EM TÉCNICAS ADAPTATIVAS NA EPUSP

A RESEARCH SURVEY ON ADAPTIVE TECHNIQUES AT THE UNIVERSITY OF SAO PAULO, BRAZIL

João José Neto

Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais
Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas
joao.jose@poli.usp.br

Resumo

Este artigo tem como meta apresentar uma versão atual do levantamento da pesquisa que vem sendo desenvolvida na Escola Politécnica da USP, na área da Tecnologia Adaptativa. Conceitua brevemente a Adaptatividade e a Tecnologia Adaptativa, nela baseada, e para tanto inclui e relata brevemente os mais recentes avanços realizados, aplicações ensaiadas, projetos tecnológicos bem sucedidos, e bibliografia produzida. O material apresentado complementa e atualiza um balanço similar; publicado em 2007, apontando os principais avanços, identificando caminhos que estão se delineando e apontando algumas possibilidades promissoras de evoluções futuras.

Palavras-chave: Adaptatividade; Tecnologia adaptativa; Dispositivos adaptativos; Sistemas auto-modificáveis; Programas adaptativos.

Abstract

This paper presents a summary of the research on Adaptive Technology, in course in the University of Sao Paulo, Brazil, at the Polytechnic School. Initially, the concepts of adaptivity and adaptive technology are defined. Theoretical advances, applications developed and well-succeeded technological projects are discussed, and the associated technical publication is mentioned. A sampler of the most significant results achieved since the first beginning of this activity concludes this publication, stressing their impact and suggesting proposals for the future fundamental and practical advances.

Keywords: Adaptivity; Adaptive technology; Adaptive devices; Self-modifying systems; Adaptive programs.

1 INTRODUÇÃO HISTÓRICA

O LTA – Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas⁵³ – teve sua origem em 1985, motivada pelo interesse pedagógico em novas técnicas de projeto e realização de linguagens de programação de alto nível.

Resultou, desse primeiro esforço, o estabelecimento de diversas técnicas não-tradicionais e de algoritmos práticos para se obter, de forma automática e a baixo custo, compiladores guiados por analisadores sintáticos baseados em autômatos de pilha estruturados, a partir de uma especificação formal de linguagem livre de contexto, expressa na Notação de Wirth³⁸.

Essas técnicas, desde então em uso para o ensino de linguagens, compiladores e software básico nas áreas exatas de diversas instituições, empregam somente o conceito simples e intuitivo de máquinas de estados finitos, mutuamente recursivas, e deram origem a um livro didático sobre a elaboração de compiladores³⁸.

Nesse livro, é apresentado detalhadamente um método prático, de obtenção automática, a partir de gramáticas em Notação de Wirth, de núcleos sub-ótimos para compiladores dirigidos por sintaxe, baseados em autômatos de pilha estruturados.

Em 1993 toda essa pesquisa se consolida, e é muito expandida pela introdução, como dispositivo aceitador, do novo conceito de autômato adaptativo³⁹, internacionalmente publicado pela primeira vez em [⁴⁰].

Esse formalismo representou um importantíssimo marco nessa pesquisa por ser Turing-equivalente⁷⁵, podendo por isso representar e manipular, de forma prática, simples e confortável, aspectos linguísticos sensíveis ao contexto, o que raramente ocorre em formalismos equivalentes.

Em [³⁹] apresentam-se várias instâncias de dependências de contexto, descritas de forma estritamente sintática por meio de autômatos adaptativos, contemplando aspectos linguísticos complexos, tais como a semântica estática e a extensibilidade dinâmica de linguagens.

Dispositivos Adaptativos como estes⁵³ caracterizam-se por terem seu comportamento determinado por conjuntos dinamicamente variáveis de regras.

Há hoje muitos outros dispositivos automodificáveis em uso: Autômatos diversos^{33,39}, Statecharts^{47,49}, Redes de Markov⁷, Redes de Petri⁸², Gramáticas^{10,56}, Tabelas de Decisão^{3,43} e até mesmo Programas^{1,6,22,80} e da proposição, formalização e análise de cada um desses dispositivos produziram-se diversas teses, dissertações e outras publicações, ferramentas e aplicações em software.

Com a criação de tantos formalismos baseados na adaptatividade, surgiram muitas motivações para a utilização do conceito, levando inicialmente à sua generalização, e suscitando novos e ricos assuntos de pesquisa, temas para teses e dissertações, além de inúmeras aplicações interdisciplinares.

Em particular, um grande número de projetos de formatura tem sido desenvolvido na EPUSP na área da Tecnologia Adaptativa, alinhados com a pesquisa em andamento na instituição, o que ajuda a disseminar o assunto e motivar os jovens estudantes a assimilarem essa importante técnica para uso em sua vida profissional^{62,63,64,65,66}.

Realizado todos os anos, desde 2007, o evento WTA – Workshop de Tecnologia Adaptativa – tem sido um importante catalisador de atividades e de publicações acerca da Adaptatividade e da tecnologia dela derivada^{84,85,86,87,88}.

Longe de pretender ser exaustivo, o presente artigo atualiza e complementa uma publicação similar, apresentada então nesse evento como um relato completo da evolução, do estado da pesquisa, e de suas principais aplicações nessa área⁴⁴.

2 FUNDAMENTOS

A ideia de programas auto-modificáveis é muito antiga, e teve origem nas atividades de programação dos primeiros computadores, visando à economia no uso da sua memória principal, então escassa e cara, porém essa prática trazia para os programadores dificuldades de compreensão e de manutenção desses programas, além da redução de sua confiabilidade e segurança.

Por essas razões, formou-se uma mentalidade de que programas automodificáveis seriam intrinsecamente inconvenientes do ponto de vista da Engenharia de Software, e assim, por décadas, essa técnica permaneceu em desuso²².

Recentemente, porém, surgiram novos nichos de aplicação para esse tipo de programas, e a automodificação deixou de ser considerada algo proibido, tornando-se uma opção a ser levada em consideração em diversas aplicações especiais.

Em consequência de tal histórico, os métodos de desenvolvimento para programas automodificáveis, que sejam capazes de assegurar sua segurança, confiabilidade e facilidade de compreensão e de manutenção são hoje muito escassos, tendo recebido da Engenharia de Software, quando não a rejeição, quase nenhuma atenção.

O conceito de adaptatividade⁴⁴ pode ser resumido à propriedade que têm os sistemas, nele baseados, de promover espontaneamente alterações em seu próprio comportamento, de acordo com a necessidade, em função de sua situação e comportamento correntes, e dos valores de suas entradas.

Determina o comportamento de um sistema adaptativo um conjunto de regras que, a partir dos estímulos de entrada recebidos pelo sistema em uma dada situação, não apenas impõe ao mesmo sua nova situação, mas em adição, pode alterar seu comportamento subsequente, através de convenientes adições e remoções de regras.

Devido à maneira como operam, os sistemas adaptativos se mostram particularmente adequados para a modelagem de fenômenos de aprendizagem, inferência, aquisição e representação de conhecimento, e de outras atividades similares, em especial aquelas ligadas de alguma forma à Inteligência Artificial.

3 DISPOSITIVOS ADAPTATIVOS

Para materializar a ideia da adaptatividade, foi concebida uma forma de operação do sistema adaptativo, separando-o em duas partes: um dispositivo subjacente, não-adaptativo, e uma camada adaptativa a ele acoplada, a qual lhe confere a propriedade da automodificação, própria dos dispositivos adaptativos.

Com essa arquitetura, o dispositivo subjacente tem seu funcionamento integralmente representado e especificado por intermédio de um conjunto variável de regras, o qual determina o comportamento do sistema adaptativo no momento inicial de sua operação e vai sendo alterado durante toda a operação do dispositivo.

Por sua vez, o mecanismo necessário para promover essa alteração dinâmica do conjunto de regras fica em evidência na sua íntegra, fatorado e explicitado em uma parte do formalismo denominada camada adaptativa, exclusivamente dedicada à descrição dos fenômenos de auto-modificação que devem ocorrer no dispositivo adaptativo que se deseja construir e exclusivamente dedicada a isso.

Esse arranjo permite que, a cada movimento do dispositivo adaptativo, seja acionada uma das regras do seu dispositivo subjacente, à qual pode estar eventualmente associada uma ação adaptativa, a qual determina exatamente a atividade necessária à obtenção ao tipo de modificação que o conjunto de regras deve sofrer.

Embora haja muitas alternativas para as possíveis ações adaptativas que se podem permitir com essa finalidade, optou-se por um conjunto minimalista de ações elementares, composto de apenas operações de consulta, de inserção e de remoção, permitindo especificar qualquer edição para o conjunto de regras do dispositivo.

Detalhes sobre essa arquitetura e seu funcionamento estão formalmente especificadas, exemplificadas e disponibilizadas em [43].

4 TECNOLOGIA ADAPTATIVA

Outra importante aplicação da adaptatividade advém da exploração de dispositivos formais adaptativos diversos, cuja equivalência com a Máquina de Turing⁷⁵ confere a tais formalismos o maior poder possível de representação e de expressão.

Assim, por meio de dispositivos adaptativos, linguagens bastante complexas, dependentes de contexto, passam a ser direta e integralmente representáveis, dispensando o auxílio de artifícios comumente empregados na confecção de compiladores

usuais, estes tipicamente dirigidos por uma sintaxe livre de contexto, e complementadas por ações auxiliares, externas ao formalismo utilizado⁴⁰.

Mais uma utilidade dos formalismos adaptativos provém de que a única sede de toda a aprendizagem efetuada e do conhecimento acumulado em qualquer modelo neles baseado é precisamente o conjunto de regras que os define, e nada mais.

Dessa forma, a monitoração das variações do conteúdo do conjunto de regras, e a determinação de sua correlação aos eventos de entrada que as provocaram mostra-se um promissor caminho para a obtenção de medidas quantitativas precisas dos parâmetros de aprendizagem implementados por dispositivos adaptativos.

Isso oferece, portanto, aos usuários de sistemas adaptativos, uma inédita técnica de identificação e medida do conhecimento captado passo a passo pelo modelo, recurso este praticamente ausente em outras alternativas correntemente em uso nas aplicações de Inteligência Artificial.

A Tecnologia Adaptativa consiste na utilização prática, confortável e econômica da adaptatividade, visando à resolução de problemas concretos, originados nas mais diversas áreas de interesse⁴⁴.

5 AVANÇOS CONCEITUAIS JÁ ALCANÇADOS

Ao longo de toda a duração desta pesquisa, inúmeros resultados conceituais foram obtidos, entre os quais se podem destacar:

Autômato de Pilha Estruturado – este foi o primeiro grande passo conceitual, dado ainda na pré-história da pesquisa em adaptatividade aqui relatada.

Autômatos de pilha estruturados³⁸ são constituídos de uma coleção de máquinas de estados finitas, que podem transitar ao receberem estímulos explícitos, na forma de terminais, ou implícitos, na forma de não-terminais. No primeiro caso, operam como autômatos finitos usuais. No segundo, empilham o estado a ser atingido após a transição usando o não-terminal, e transferem o controle para a sub-máquina associada ao não-terminal em questão. Ao final de um reconhecimento bem sucedido, desempilham o

estado de retorno e transferem o controle à sub-máquina de onde partiu o acionamento da sub-máquina corrente, prosseguindo o reconhecimento da sentença.

O autômato de pilha estruturado desempenhou um importantíssimo papel na sistematização da técnica de construção de compiladores para linguagens de programação, por ter proporcionado um meio muito prático e simples de obtenção de reconhecedores sintáticos eficientes para linguagens livres de contexto descritas por meio de gramáticas em Notação de Wirth. Sua aplicação teórica mais importante foi, entretanto, como formalismo subjacente do autômato adaptativo, conforme descrito a seguir.

Autômato Adaptativo – Como primeiro dispositivo adaptativo desenvolvido, o autômato adaptativo³⁹ representa o principal dos passos conceituais desta pesquisa, tendo dado partida a todo o processo de desenvolvimento dos estudos sobre a adaptatividade no país, bem como a seus subsequentes desdobramentos.

A adaptatividade, princípio que permeia conceitualmente o funcionamento do autômato adaptativo, é obviamente a auto-modificação do conjunto de regras que define o seu comportamento, ou seja, a adaptatividade⁴³.

O dispositivo não-adaptativo escolhido como formalismo subjacente do autômato adaptativo foi o autômato de pilha estruturado.

Outros Dispositivos Adaptativos – Mais recentemente, em busca de alternativas práticas para a resolução de problemas específicos, ou de uma simplificação do projeto e do uso de modelos construídos na forma de dispositivos adaptativos, novos dispositivos subjacentes, mormente da classe dos autômatos, foram propostos e utilizados como variantes desse formalismo.

Destacam-se, nesta linha, o Autômato Finito³³, o Autômato de Pilha (Estruturado), as Redes de Markov, os Statecharts, as Tabelas de Decisão, as Árvores de Decisão, as Gramáticas, os Programas desenvolvidos em linguagem de alto nível, entre muitos outros, suscitando o aparecimento de um grande número de nichos de pesquisa, de soluções para problemas diversos, de ferramentas computacionais, e de publicações técnicas na área.

Há muitos outros dispositivos promissores ainda por explorar, mas entre eles as Máquinas de Turing, as Máquinas de Estados, as Redes de Petri e os Autômatos Probabilísticos podem ser considerados os mais importantes.

Em arranjo análogo ao que foi utilizado por [7] e na ferramenta AdapTools, o conceito de transdutores (adaptativos) encadeados é também uma alternativa muito rica e simples, que pode trazer bons frutos para a pesquisa e a tecnologia adaptativas.

Dispositivo adaptativo geral, guiado por regras – Observando-se o comportamento e a estrutura dos dispositivos adaptativos ensaiados, chegou-se à conclusão de que uma generalização da ideia de dispositivo adaptativo seria muito adequada e tenderia a facilitar novos avanços na área.

Com isso em mente, partiu-se para uma formalização de um dispositivo adaptativo que se mostrasse o mais independente possível do dispositivo subjacente, que este ficasse o mais preservado e estanque possível, e cujas atividades ligadas à auto-modificação ficassem confinadas em uma camada adaptativa simples.

Surgiu então o formalismo geral apresentado em [43], segundo o qual todos os dispositivos adaptativos guiados por regras poderiam ter uma formalização única, composta de um dispositivo subjacente não-adaptativo, acrescido de uma camada adaptativa que permitisse a alteração do seu conjunto de regras de funcionamento mediante o uso exclusivo de operações básicas de edição, tais como consultar, inserir e remover regras.

Essa nova formalização deu origem à concepção de um meta-ambiente para dispositivos adaptativos, ferramenta poderosa⁵ com a qual, a partir de uma especificação formal do dispositivo desejado, é automaticamente configurado um ambiente operante e abrangente, para a especificação e simulação de dispositivos da classe definida. Com esse ambiente assim obtido, pode-se efetuar o ensaio e exercício de instâncias particulares do dispositivo em questão.

Dispositivo com multi-nível de adaptatividade – A evolução natural dos dispositivos gerais apresentados em [43] foi uma generalização através da qual se

possibilitou que o dispositivo subjacente pudesse ser, ele próprio, também adaptativo, e fica evidente a possibilidade de inclusão de um número arbitrário de camadas adaptativas em dispositivos dessa natureza.

Para tornar mais interessante e expressivo o novo dispositivo assim obtido, pode-se dotar as novas camadas adaptativas da capacidade adicional de modificar não apenas o conjunto de regras subjacente, mas a própria camada adaptativa que lhe confere a capacidade de automodificação⁴⁵.

Isso dá ao usuário desses dispositivos uma flexibilidade adicional muito grande, simplificando a especificação e a formalização de modelos que não apenas disponham de funções de aprendizagem, mas que sejam também capazes de alterá-las, tornando-se, dessa forma, aptos a um “aprender a aprender” computacional.

Programas Adaptativos – Embora na área teórica este novo recurso não tenha trazido ainda contribuições tão expressivas como a dos anteriores, foram obtidos consideráveis avanços na área da Engenharia de Software voltada à obtenção de programas auto-modificáveis com a ajuda de linguagens de programação projetadas especialmente para isso.

Pesquisas nessa direção surgiram com [6], que estabeleceu diretrizes gerais e mostrou a viabilidade prática de construção de tais linguagens, e tiveram continuidade com [1] e [22].

Mais recentemente, em [80], os conceitos anteriormente desenvolvidos se consolidaram e dessa maturação resultou uma primeira proposta de diretrizes metodológicas voltadas à especificação e projeto sistemáticos, visando à obtenção de programas automodificáveis confiáveis e de boa qualidade.

O conceito fundamental referente a essa ideia é relativamente simples, e se apoia diretamente na Conjectura de Church: programas e Máquinas de Turing são formas alternativas de representação de computações.

Sendo a Máquina de Turing um dispositivo formal poderoso e simples, orientado por regras, cada uma de suas instâncias, portanto, os programas a elas equivalentes,

podem receber uma camada adaptativa, resultando dessa fusão máquinas de Turing adaptativas, o mesmo podendo ser feito com os correspondentes programas automodificáveis.

Assim, acoplar a um programa uma camada adaptativa capaz de reger a sua automodificação pode proporcionar, portanto, uma forma simplificada para se codificar de forma rigorosa e prática o comportamento de programas adaptativos.

Uma linguagem de programação especialmente desenvolvida para essa finalidade deve, portanto, proporcionar ao programador recursos para definir não apenas códigos referentes às operações imutáveis do programa, mas também os procedimentos associados à alteração do comportamento desse programa durante sua operação.

Nesse sentido, [80] desenvolve e descreve uma linguagem de alto nível com tais características, que a tornam capaz de denotar e especificar, de forma organizada, o funcionamento de programas dinamicamente modificáveis.

Nesse mesmo trabalho, é proposta também uma notação gráfica, apropriada para o projeto de programas adaptativos, bem como um método sistemático de construção de programas desse tipo.

Assim, é seguro dizer que esses progressos constituem outro importante marco na evolução dos dispositivos adaptativos, colocando-os agora tecnologicamente a serviço do programador, para operarem como ferramentas que facilitem o uso da adaptatividade, de forma relativamente simples e transparente.

6 PESQUISAS EM ANDAMENTO E TENDÊNCIAS

Sem dúvida há muito a ser pesquisado e desenvolvido no campo da Engenharia de Software para programas adaptativos. Até o momento, além do que foi acima relatado, houve alguns outros avanços, um na área das linguagens e ambientes para auxílio à especificação de software⁷² e outro, na área da orientação a objetos, através da proposta de objetos adaptativos²⁶, através dos quais se pretende proporcionar uma forma organizada e moderna, orientada a objetos, de construção de software adaptativo.

Ainda nesse mesmo âmbito, está sendo cogitado o desenvolvimento de um conjunto de padrões (patterns) para a programação de software envolvendo adaptatividade, com a ajuda dos quais se planeja tornar mais prático e confiável o desenvolvimento de programas automodificáveis usando padrões em programação orientada a objetos.

Na área da programação imperativa para software adaptativo, acima mencionada, há um vasto campo a ser explorado, visando à disponibilização de ambientes completos para a concepção, projeto, implementação, documentação, manutenção e avaliação de programas automodificáveis imperativos.

Uma das grandes vantagens da adaptatividade em relação a diversas outras técnicas que buscam objetivos similares é, sem dúvida, o fato de que sua utilização não substitui nem exclui outros métodos e técnicas.

Um tópico muito promissor, que cada vez mais está ganhando a atenção dos pesquisadores, é o uso da adaptatividade em sistemas híbridos, nos quais se explora a versatilidade das técnicas adaptativas associando-as a outras técnicas em uso.

Ao contrário do que usualmente ocorre, o uso da adaptatividade em conjunto com outras técnicas estimula a cooperação entre técnicas, propiciando o aproveitamento das melhores características de cada uma delas, para uma resolução mais eficiente de problemas complexos.

Sistemas híbridos tendem a permitir que se utilizem os melhores recursos oferecidos em cada uma das técnicas colaborativas, de forma que se possam ser obtidos resultados melhores que os alcançáveis utilizando-se cada técnica separadamente.

Dispositivos probabilísticos constituem outra frente de pesquisa iniciada, e envolvem modelagem estocástica, linguagens de programação voltadas para a representação, modelagem e simulação probabilística de modelos não-determinísticos, e muitos outros elementos afins.

Além da desejável aproximação entre a adaptatividade e os processos estocásticos, através da criação e simulação de modelos híbridos, esta pesquisa propicia a utilização

simultânea de modelos discretos, adequados para a adaptatividade, e contínuos, mais naturais na modelagem da maior parte dos fenômenos de interesse em ciências naturais e engenharia.

Isso poderá trazer grandes avanços ao desenvolvimento de pesquisas na fronteira entre as técnicas analógicas e digitais, como as anteriormente ensaiadas, mas que não tiveram prosseguimento na época. É este, por exemplo, o caso do processo, proposto em [33], de discretização de grandezas contínuas, para uso em métodos de tomada de decisão utilizando árvores de decisão adaptativas.

Mais uma pesquisa recente envolve o conceito de encadeamento de dispositivos. Embora não se trate de técnica inédita, mostra-se adequada para auxiliar o projetista na concepção estruturada de soluções de baixa complexidade para problemas de grande porte, explorando o conceito clássico do refinamento sucessivo de abstrações.

Isso pode ser feito por meio da decomposição hierárquica da solução adotada, acompanhada da fragmentação do dispositivo que a representa em outros mais simples, adequadamente interligados.

Se os dispositivos utilizados forem transdutores adaptativos, o encadeamento pode ser feito de forma muito simples, alimentando-se cada transdutor não apenas com estímulos externos, mas também com eventuais saídas dos demais⁷.

Em arranjos lineares, obtém-se, como caso particular dessa arquitetura, o “pipeline”, no qual, à maneira do que acontece em linhas de produção, o primeiro dispositivo recebe suas entradas diretamente do meio externo, o último gera as saídas finais para o meio externo, e os demais, cada qual se alimenta das saídas do dispositivo que o precede, e alimenta o seguinte com as suas saídas.

Uma aplicação de autômatos finitos nebulosos pode ser encontrada em [4], onde se discute o reconhecimento aproximado de cadeias utilizando dispositivos híbridos que aproximam a adaptatividade dos sistemas nebulosos.

Uma análise mais abrangente de sistemas híbridos em inteligência computacional está apresentada em [55], estudando a adaptatividade na sua interação com algoritmos genéticos e sistemas nebulosos.

Outra interessante pesquisa recente deve ser citada: a utilização da adaptatividade em sistemas envolvendo agentes autônomos²⁰. Trata-se de uma utilização híbrida da adaptatividade e dos agentes, que traz para sistemas baseados em agentes uma nova dimensão para seus mecanismos de tomada de decisão, aprendizagem, estabelecimento de estratégias, inferências e outros.

7 APLICAÇÕES PRINCIPAIS

As inúmeras aplicações da tecnologia adaptativa, que foram até hoje utilizadas, podem ser agrupadas de acordo com suas afinidades temáticas. Relacionam-se, nesta seção, as áreas que, científica e tecnologicamente, se mostraram mais significativas.

Educação – nesta área pode-se contar com trabalhos envolvendo a adaptatividade na teoria algorítmica do aprendizado⁷⁴, e na modelagem de cursos para software educacional, com o auxílio de máquinas de Moore adaptativas⁸². Um software de apoio ao ensino da tecnologia adaptativa está descrito em [59].

Segurança e Privacidade – a adaptatividade tem sido utilizada para a formalização de mecanismos de controle de acesso, em aplicações ligadas à segurança e à privacidade de dados^{67,68}, em particular no uso de autômatos adaptativos em criptografia^{21,69}.

Robótica – esta é uma vasta área de aplicação para a adaptatividade. Autômatos adaptativos têm sido intensamente utilizados, em automação e em aplicações robóticas, em protocolos de roteamento em redes de sensores móveis sem fio⁵², em atividades ligadas à navegação robótica autônoma⁵⁴, no planejamento de rotas para trânsito urbano, no mapeamento robótico, em servidores web adaptativos.

Modelagem – a modelagem e a meta-modelagem foram extensamente exercitadas em muitas pesquisas recentes, das quais aqui são mencionadas apenas algumas, pois

permeiam significativamente as demais áreas de interesse. Modelos adaptativos de distribuição de espécies têm sido estudados na área da biotecnologia²⁴. Modelos de desenhos digitais usando autômatos adaptativos foram empregados como base para um método adaptativo de modelagem de alinhamento gráfico^{50,51}. Na resolução de problemas complexos, a adaptatividade se apresenta como uma alternativa muito atraente para a obtenção de soluções eficientes⁴². Como apoio à modelagem e ao ensaio de dispositivos com comportamento automodificável, um meta-ambiente foi produzido que facilita a produção automática de softwares de apoio ao seu uso e simulação⁵.

Arte – No domínio das artes, algumas frentes podem ser identificadas nos trabalhos de pesquisa realizados utilizando adaptatividade, em particular na área da música, explorando temas tais como: composição musical automática e geração de saídas musicais⁷, busca de padrões musicais⁷¹, e conversão de notações musicais¹⁴. A arte por computador é sem dúvida uma especialidade em que técnicas adaptativas têm uma vasta atuação potencial, dado o desafio de modelar e incorporar uma capacidade “criativa” em sistemas computacionais. Para isso, a variante multinível dos sistemas adaptativos⁴⁵ proporciona um promissor campo de pesquisa que se soma à tradicional aprendizagem de máquina, ao proporcionar uma forma confortável para modelar não apenas a aquisição e representação do conhecimento, mas também a importante e inusitada possibilidade de “aprender a aprender”, através da modificação da própria forma como o conhecimento é representado, identificado, extraído e armazenado.

Otimização – de utilidade praticamente universal, a complexa atividade da otimização muito tem a se beneficiar com o uso de técnicas adaptativas, pois com estas torna-se possível, de acordo com a conjuntura e com as necessidades instantâneas, modificar os próprios métodos utilizados para efetuar otimizações de parâmetros, em função das particularidades de cada caso. Entre as diversas experiências realizadas neste domínio usando técnicas adaptativas, destacam-se a otimização da sintonização da distribuição acústica em salas de audição crítica⁸, a melhoria da qualidade do código

gerado automaticamente por compiladores³⁷, a otimização de rotas em tempo real¹⁸ e a otimização de buscas em linguagem natural¹¹.

Simulação – esta é uma importante aplicação dos computadores, que permeia praticamente todas as áreas do conhecimento. A adaptatividade, nessa área, dá margem ao uso de técnicas inteligentes para a realização de simulações, de forma que, modelando-se adequadamente fenômenos complexos, possam estes ser simulados de forma confortável e econômica. Entre muitas outras aplicações dessa natureza, podem ser apontadas as simulações de um dispositivo adaptativo por algum outro (desses, os que ganharam maior popularidade foram as simulações que utilizam como dispositivo hospedeiro adaptativo as tabelas de decisão ou então os autômatos de pilha estruturados)⁴³. Casos particulares de grande importância são as simulações empregadas em determinados algoritmos decisórios, e outras usualmente encontradas em jogos eletrônicos e em equipamentos para treinamento, que utilizam extensivamente técnicas inteligentes de escolha de estratégias, e de tomadas de decisão, para imitar comportamentos, reproduzir e alterar realidades, viabilizar ensaios que de outra forma seriam exageradamente onerosos ou demorados, criar ambientes virtuais seguros, para treinamento ou ensaio com equipamentos ou situações de custo elevado ou de alta periculosidade, ou ainda envolvendo fenômenos naturais, usualmente não controláveis.

Tomada de decisão – já mencionada anteriormente, esta atividade da inteligência computacional é particularmente interessante como alvo para a aplicação da adaptatividade, devido à vasta gama de alternativas a que dá margem. Entre os diversos trabalhos desenvolvidos nesta área empregando adaptatividade diversos dos quais já citados em outros tópicos deste trabalho, destacam-se aqueles que se apoiam em dispositivos adaptativos que têm autômatos, tabelas de decisão e árvores de decisão^{25,33,43} como dispositivos computacionais subjacentes. As aplicações desenvolvidas compreendem, entre outras, a recomendação de recursos⁷⁰, as tomadas de decisão multicritério³, a seleção de serviços², e a aprendizagem incremental⁷⁷.

Cognição – Uma área de aplicação que recentemente começou a merecer atenção dos pesquisadores da adaptatividade é a da cognição. Nesta linha, foi proposto um trabalho sobre a investigação empírica de comportamento de autômatos adaptativos gerados automaticamente⁶¹. Há muito a ser feito neste assunto, esperando-se que em breve mais trabalhos sejam desenvolvidos aproximando a adaptatividade das ciências cognitivas.

Extração de informação – nessa linha, identificam-se dois grandes grupos de atividades. O primeiro se refere à forma, e pode ser genericamente associado ao reconhecimento de padrões, tais como a identificação morfológica de padrões¹², alguns tipos de diagnóstico feito a partir de imagens^{19,32}, o reconhecimento e identificação de sinais manuais e gestuais³³, os classificadores⁷⁶, a identificação de objetos em imagens, a descoberta de padrões em massas de dados⁷³, o reconhecimento de formas geométricas, o reconhecimento óptico de caracteres⁹, bem como técnicas de aprendizagem incremental⁷⁷, voltadas a essa atividade. O segundo⁷⁷, mais voltado à extração de padrões sintáticos, refere-se ao aprendizado de linguagens, a avaliação de autômatos finitos gerados automaticamente por algoritmos genéticos⁶¹, e a inferência de gramáticas regulares e livres de contexto a partir de amostras^{30,35,41}. Um caso especial consiste na identificação de padrões de comportamento de animais de laboratório a partir dos seus padrões de movimentação, dadas as condições impostas em cada particular fenômeno em estudo⁸¹. Naturalmente, os casos aqui citados se referem apenas à extração explícita de informação. Todavia, essa atividade está presente, embora de forma menos evidente, em inúmeras outras aplicações da adaptatividade, especialmente aquelas relacionadas a sistemas com aprendizagem.

Tratamento de linguagens dependentes de contexto – Um assunto fundamental que deve ser bem dominado para que se possa utilizar a adaptatividade em aplicações sofisticadas é a dependência de contexto⁴⁰. Os primeiros trabalhos nesse sentido ensaiaram o uso de gramáticas⁵⁶ e de autômatos adaptativos³⁹ como veículos de inclusão de dependências de contexto na formalização de linguagens de programação. O objetivo

desse trabalho foi o de criar, por meio de um único formalismo, especificações completas de linguagens de programação, abrangendo suas componentes léxica e sintática, suas dependências de contexto e muitos aspectos da geração de código. A partir dessa descrição formal, podem-se obter compiladores operantes para a linguagem em questão. Em adição, foi desenvolvido um estudo teórico-conceitual bastante abrangente acerca de formalismos gramaticais livres de contexto adaptativos com verificação de aparência¹⁰. Outras importantes áreas de aplicação da adaptatividade no tratamento de dependências de contexto podem ser identificadas nas atividades de processamento de linguagem natural, discutidas a seguir.

Processamento de linguagem natural – De todas as aplicações apresentadas neste documento, esta é sem dúvida a que maior atenção tem recebido dos pesquisadores da adaptatividade, cobrindo assuntos que abrangem muitas aplicações, entre as quais a extração e coleta de palavras e de frases em textos^{39,58}, a criação de ferramenta para o estudo do grego clássico, a etiquetagem morfológica¹², a definição, o reconhecimento e análise sintática de textos em linguagem natural, bem como a descrição e o tratamento de suas dependências contextuais^{48,57}, o reconhecimento de anáforas pronominais¹⁵, o alinhamento e emparelhamento de textos^{46,79}, a síntese de voz²⁸, a síntese de voz com qualidade para o português^{16,17}, a melhoria da qualidade de sintetizadores de voz para o castelhano¹³, a busca semântica em corpora¹¹, a otimização de buscas¹¹, a classificação de textos³¹, a extração de conhecimento²⁷, o uso da teoria da predição em linguagem formal e natural³⁴. Além desses, foram também feitos alguns trabalhos na área de tradução automática¹¹; Tradução texto-voz¹⁷; Tradução grafema-fonema para português brasileiro¹⁶; o projeto SONIDO²³, que faz tradução de voz para voz, do português para o castelhano. Essa extensa lista inclui apenas os principais temas estudados na área, e, mantido o ritmo da pesquisa, em breve certamente deverá sofrer uma substancial ampliação, pelos bons resultados esperados do estudo de aspectos pouco explorados do uso da adaptatividade no processamento de linguagem natural.

Apoio a portadores de deficiências – essa área, por suas características, é muito propícia para o desenvolvimento de aplicações adaptativas. Alguns projetos foram ou estão sendo conduzidos nesse sentido, podendo-se destacar os seguintes: para o auxílio a portadores de deficiências: o projeto POLI-LIBRAS²⁹, de tradução de texto em português para Libras, voltado à comunicação com portadores de deficiência auditiva; o projeto SIGUS⁷⁸, de visão computacional, voltado à inclusão digital; software de detecção da direção do olhar, voltado a portadores de deficiências neurológicas motoras³³; o projeto SKIN³², de reconhecimento de câncer de pele, para auxílio a profissionais da saúde, através da elaboração de diagnósticos automáticos;

7 FERRAMENTAS DESENVOLVIDAS

Dentre as ferramentas resultantes de toda essa pesquisa, podem ser destacados: Ferramentas de desenvolvimento e simulação: para a definição e simulação de statecharts adaptativos simples⁴⁹ ou com sincronização através de redes de Petri⁴⁷; para a especificação e simulação de autômatos finitos, autômatos de pilha estruturados e autômatos adaptativos, em particular para a criação e ensaio de reconhecedores sintáticos para linguagens livres de contexto³⁶; para a criação e simulação automática de compositores musicais personalizados⁷; para a especificação e ensaio de autômatos finitos, de pilha estruturados, adaptativos e adaptativos encadeados³³; bibliotecas e frameworks para a especificação e simulação de dispositivos adaptativos: biblioteca em C++ para autômatos adaptativos⁵⁷, biblioteca AdapLib para dispositivos adaptativos, framework para o projeto de linguagens de especificação de software, e um gerador de ambientes para desenvolvimento de dispositivos adaptativos formalmente especificados⁵; ambiente para especificação e ensaio de tabelas de decisão adaptativas³; visualizador gráfico para rede de Petri adaptativa⁸²; framework para privacidade⁶⁷; linguagem de alto nível para a codificação de aplicações automodificáveis⁸⁰.

8 CONCLUSÃO

Procurando estimular o conhecimento e a aplicação da Tecnologia Adaptativa nas mais diversas áreas de atuação dos dispositivos computacionais, o presente levantamento cumpre o propósito de servir como um roteiro para o iniciante, para o estudante e para o pesquisador da adaptatividade, bem como, e não menos importante, o de oferecer a todos os interessados um material informativo atualizado e abrangente que, embora não esgote o assunto, é suficientemente completo para dar uma noção concreta do estado das publicações técnicas referentes aos trabalhos desenvolvidos na área.

Como se pode facilmente depreender do que foi relatado neste levantamento, a adaptatividade é uma fascinante área de pesquisa, cujo objeto principal de estudo é a técnica extremamente versátil e simples em que se baseia, e que exibe algumas características muito desejáveis, dificilmente encontradas na maioria dos métodos de mesma finalidade, atualmente em uso.

Talvez a principal dessas características seja que, além de representarem no seu conjunto de regras toda a informação acerca de seu comportamento, os dispositivos adaptativos confinam e representam, nesse mesmo conjunto de regras, todo o conhecimento para eles disponível, desde aquele que já existia ao início do seu processamento quanto todo o que for coletado pelo dispositivo durante sua operação.

Isso concede aos dispositivos que utilizam a adaptatividade uma forma inédita de representação do conhecimento que permite, a partir exclusivamente de consultas ao conjunto de regras que define o dispositivo, quantificar o conhecimento angariado pelo dispositivo ao longo de sua operação, bem como correlacioná-lo com os estímulos recebidos pelo mesmo, que propiciaram sua coleta.

Não menos importante, outra característica dos dispositivos adaptativos é a sua potencial compatibilidade com uma imensa quantidade de outras técnicas existentes cujo comportamento possa ser formalizado integralmente através de um conjunto de regras. Dessa forma, a adaptatividade não deve ser considerada uma técnica concorrente das demais, pois não as exclui, ao contrário, além de poder ser utilizada isoladamente, permite

adicionar a outras técnicas características desejáveis adicionais, com potencial ganho na qualidade dos resultados com eles alcançados.

Assim sendo, o comportamento adaptativo pode ser introduzido em um desses dispositivos mediante o simples acoplamento de uma camada adaptativa, cujas operações, disparadas pela execução das regras a cada passo de execução do dispositivo, efetuam ações de edição do próprio conjunto de regras, alterando assim o comportamento do dispositivo, efetuando ao mesmo tempo algum tipo de aprendizagem, e isso torna os dispositivos adaptativos muito atraentes para a concepção e implementação de sistemas inteligentes, e de muitas outras aplicações em Inteligência Artificial.

REFERÊNCIAS

Conforme já foi mencionado, o conjunto de referências abaixo não esgota o panorama mundial de trabalhos na área da adaptatividade, mas sendo este artigo um trabalho de levantamento bibliográfico parcial, focalizado essencialmente na produção da EPUSP, as referências relacionadas abaixo restringem-se, de forma igualmente não-exaustiva, àquelas produzidas pelo grupo de pesquisa do LTA e por agregados que, de uma ou de outra forma, têm dado com regularidade sua preciosa contribuição para essa importante área de pesquisa.

- [1] Castro Jr., Amaury A. de. Aspectos de Projeto e Implementação de Linguagens para Codificação de Programas Adaptativos. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2009.
- [2] Tchemra, Angela H. e Rubens de Camargo. Aplicação da tecnologia adaptativa em sistemas de tomada de decisão - uma abordagem estratégica na seleção de fornecedores - Memórias do WTA 2008 - 2o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2008.pdf>
- [3] Tchemra, Angela H. Tabela de Decisão Adaptativa na Tomada de Decisão Multicritério. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2009.
- [4] Maciel, Alexandre. Aplicação de Autômatos Finitos Nebulosos no Reconhecimento Aproximado de Cadeias. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2006.
- [5] Camolesi, Almir R. Proposta de Um Gerador de Ambientes para Modelagem de Aplicações Usando Tecnologia Adaptativa. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2007

- [6] Freitas, Aparecido V de. Considerações sobre o Desenvolvimento de Linguagens Adaptativas de Programação. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2008.
- [7] Basseto, Bruno A. Um sistema de composição musical automatizada, baseado em gramáticas sensíveis ao contexto, implementado com formalismos adaptativos. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2000
- [8] Bruno Oliveira Köhn, Mark Pimentel Hodgkin, William Shinji Morita. Tratamento de modos Acústicos em Salas de Audição Crítica. Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. São Paulo, 2009. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~pcspf/2009/Trabalhos/Cooperativo/G5/monografia.pdf>
- [9] T. M. D. Bruno, F. S. Douglas, G. J. Rafael. AOCR - Adaptive optical character recognition. Memórias do WTA 2010 - Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2010.pdf>
- [10] Bravo Pariente, César Alberto. Gramáticas Livres de Contexto Adaptativas com Verificação de Aparência . Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2004.
- [11] Carolina Dorta. Otimização de buscas utilizando linguagem natural e algoritmos adaptativos. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [12] Menezes, C. E. D. Um método para a construção de analisadores morfológicos, aplicado à língua portuguesa, baseado em autômatos adaptativos. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2000.
- [13] Claudia Zapata. Mejora de la calidad de voz en castellano para el sintetizador Festival utilizando el método de autómatas adaptativos: números arábigos y fechas. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [14] Danilo de Jesus da Silva Bellini, Anna Catarina Batista Tavella. Conversão de partituras para tablaturas usando algoritmo baseado em autômato adaptativo. Memórias do WTA 2008 – Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa, disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2008.pdf>
- [15] Djalma Padovani. Uma proposta de autômato adaptativo para reconhecimento de anáforas pronominais segundo o algoritmo de Mitkov. Memórias do WTA 2009 - 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [16] Shibata, Danilo Picagli. Tradução Grafema-Fonema para a Língua Portuguesa Baseada em Autômatos Adaptativos. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2008.
- [17] D.P.Shibata e F.R.Koike. Tradutor texto-voz baseado em autômatos adaptativos. Memórias do WTA 2008 - 2o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2008.pdf>
- [18] Danilo P Shibata. Otimização de rotas a partir de informações de tráfego obtidas em tempo real. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [19] Site do Projeto DTCOURO. http://trac.gpec.ucdb.br/wiki/site_dtcurso
- [20] Eduardo Endo. Arquitetura de agentes racionais utilizando a tecnologia adaptativa. Dissertação de Mestrado. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2010.
- [21] PELEGRINI, E. J.; NETO, J. J. Applying Adaptive Technology in Data Security.Proceedings of the 6th Peruvian Computer Week - JPC 2007, Trjillo, Peru, Novembro 5-10, 2007
- [22] Pelegrini, Eder José. Códigos Adaptativos e Linguagem para Programação Adaptativa: Conceitos e Tecnologia. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2009.

- [23] Eduardo Moreira Shimizu, Pedro Maat Costa Massolino, Ronaldo Tadashi Miura, Wilson Ferreira Martins Neto. Projeto SONIDO. Monografia. Projeto de Formatura apresentado à EPUSP. São Paulo, 2010.
- [24] Elisângela S. C. Rodrigues, Fabrício A. Rodrigues, Ricardo L. A. Rocha. Dispositivo Adaptativo na Análise de Modelos de Distribuição de Espécies. Memórias do 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2009 Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [25] Fabricio Catae. Introdução a Árvores de Decisão Adaptativas. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [26] Doi, Fabricio. Objetos Adaptativos: Aplicação de Tecnologia Adaptativa à Orientação a Objetos. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2007.
- [27] F. S. Komori, F.B. Colombo and M. N. P. Carreño. Cube – A Knowledge Extraction System. Memórias do WTA 2010 - 4o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2010.pdf>
- [28] ZUFFO, F., PISTORI, H. Tecnologia Adaptativa e Síntese de Voz: Primeiros Experimentos. Anais do V Workshop de Software Livre - WSL. Porto Alegre, 2-5 de Junho, 2004.
- [29] Guilherme Carvalho Januário, Leonardo Alexandre Ferreira Leite, Marcelo Li Koga. POLI-LIBRAS - Um Tradutor de Português para LIBRAS. Projeto de Formatura apresentado à EPUSP. São Paulo, 2010. Disponível em <http://www.polilibras.com.br/documentos/monografia.pdf?attredirects=0&d=1>
- [30] Guilherme Januário. Análises de gramática inferidas usando adaptatividade para linguagens naturais. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [31] Hugo Baraúna. Avaliação do uso de árvore de decisão adaptativa na classificação de textos. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [32] Heitor Ganzeli, Julia Bottesini, Leandro Paz, Matheus Ribeiro. SKAN: Skin Scanner - Software para o reconhecimento de câncer de pele utilizando técnicas adaptativas. Projeto de Formatura apresentado à EPUSP. São Paulo, 2009. Disponível em <http://dl.dropbox.com/u/159383/grupo07S/docs/monografia.pdf>
- [33] Pistori, Hemerson. Tecnologia Adaptativa em Engenharia de Computação: Estado da Arte e Aplicações . Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2003
- [34] Chaer, Iúri. Um estudo sobre a Teoria da Predição aplicada à análise semântica de Linguagens Naturais. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2010.
- [35] Matsuno, Ivone Penque. Um Estudo do Processo de Inferência de Gramáticas Regulares e Livres de Contexto Baseados em Modelos Adaptativos. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2006.
- [36] Pereira, Joel Camargo Dias. Ambiente integrado de desenvolvimento de reconhedores sintáticos, baseado em autômatos adaptativos. Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 1999.
- [37] Luz, Julio Cezar. Tecnologia Adaptativa Aplicada à Otimização de Código em Compiladores . Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2004.
- [38] João José Neto – Introdução à Compilação – LTC, Rio de Janeiro, 1987
- [39] Neto, J. J. Contribuições à metodologia de construção de compiladores. Tese de Livre Docência, EPUSP, São Paulo, 1993.

- [40] Neto, J. J. Adaptive Automata for Context-Sensitive Languages. SIGPLAN NOTICES, Vol. 29, n. 9, pp. 115-124, September, 1994
- [41] Neto, J. J. e Iwai, M. K. Adaptive Automata for Syntax Learning. CLEI 98 - XXIV Conferencia Latinoamericana de Informatica, MEMORIAS. pp. 135-149, Quito, Equador, 1998
- [42] Neto, J. J. Solving complex problems with Adaptive Automata. Lecture Notes in Computer Science. S. Yu, A. Paun (Eds.): Implementation and Application of Automata 5th International Conference, CIAA 2000, Vol.2088, London, Canada, Springer-Verlag, 2000, pp.340.
- [43] Neto, J. J. Adaptive Rule-Driven Devices - General Formulation and Case Study. Lecture Notes in Computer Science. Watson, B.W. and Wood, D. (Eds.): Implementation and Application of Automata 6th International Conference, CIAA 2001, Vol.2494, Pretoria, South Africa, July 23-25, Springer-Verlag, 2001, pp. 234-250.
- [44] Neto, J. J. Um Levantamento da Evolução da Adaptatividade e da Tecnologia Adaptativa. Revista IEEE América Latina. Vol. 5, Num. 7, ISSN: 1548-0992, Novembro 2007. (p. 496-505)
- [45] Neto, J. J - Adaptatividade: Generalização Conceitual - Memórias do 3º Workshop de Tecnologia Adaptativa – WTA 2009. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [46] J. Kinoshita e R.L.A. da Rocha. Alinhamento de duas cadeias usando um transdutor adaptativo. Memórias do WTA 2009 - 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [47] Santos, José Maria Novaes dos Um formalismo adaptativo com mecanismo de sincronização para aplicações concorrentes. . Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 1997.
- [48] José Maria Novaes dos Santos. Gramática adaptativa para análise sintática da língua portuguesa. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [49] Almeida Junior, J. R. Stad :uma ferramenta para representação e simulação de sistemas através de statecharts adaptativos. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 1995.
- [50] Leoncio Claro Barros Neto, André Riyuiti Hirakawa, Antonio Marcos de Aguirra Massola. Adaptive modeling of digital straightness applied to geometric representation enhancement. International Journal of Computer Applications vol. 10, n. 2, november 2010.
- [51] Leoncio Claro Barros Neto. Um modelo adaptativo aplicado no aprimoramento da representação de linhas retas em geometria digital. Memórias do 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2011.
- [52] L. Gonda, C. Cugnasca, A. A. de Castro Jr., J. J. Neto. Aplicação de Tecnologia Adaptativa em Redes de Sensores Sem Fio. Memórias do 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2009. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [53] Site do LTA – Laboratório de Linguagens e Técnicas Adaptativas da EPUSP – <http://www.pcs.usp.br/~lta>
- [54] SOUSA, M. A. A., HIRAKAWA, A. H. Robotic mapping and navigation in unknown environments using adaptive automata. Proceedings of International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms - ICANNGA 2005, Coimbra, March 21-23, 2005.
- [55] M. A. P. Burdelis, M. T. C. Andrade. Análise, sob o ponto de vista de adaptatividade, de sistemas híbridos em inteligência computacional: algoritmos genéticos e sistemas nebulosos. Memórias do WTA 2009 - 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [56] Iwai, M. K. Um formalismo gramatical adaptativo para linguagens dependentes de contexto. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2000.

- [57] Moraes, Miryam de. Alguns aspectos de tratamento de dependências de contexto em linguagem natural empregando tecnologia adaptativa. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2006.
- [58] M.Marques. Armazenador adaptativo de palavras e frases da língua portuguesa. Memórias do WTA 2009 - 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [59] Miguel Santibañez. Um sistema para ensino da tecnologia adaptativa. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [60] N. L. Werneck. Biblioteca para autômatos adaptativos com regras de transição armazenadas em objetos feita em C++. Memórias do WTA 2008 – Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2008.pdf>
- [61] Nicolau Leal Werneck. Investigação empírica dos comportamentos de um conjunto de autômatos finitos adaptativos. Memórias do WTA 2010 - 4o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2010.pdf>
- [62] Site dos projetos de formatura do PCS, ano de 2007. <http://www.pcs.usp.br/~pcspf/2007/ProjetosdeFormatura.htm>
- [63] Site dos projetos de formatura do PCS, ano de 2008, <http://www.pcs.usp.br/~pcspf/2008/ProjetosdeFormatura.htm>
- [64] Site dos projetos de formatura do PCS, ano de 2009. <http://www.pcs.usp.br/~pcspf/2009/ProjetosdeFormatura.htm>
- [65] Site dos projetos de formatura do PCS, ano de 2010. <http://www.pcs.usp.br/~pcspf/2010/ProjetosdeFormatura.htm>
- [66] Site dos projetos de formatura do PCS, ano de 2011. <http://www.pcs.usp.br/~pcspf/2011/ProjetosdeFormatura.htm>
- [67] CEREDA, P. R. M.; ZORZO, S. D. Formalismo com Autômato Adaptativo em Mecanismo de Privacidade e Personalização. CLEI 2007, San José, Costa Rica, 9-12 Outubro, 2007.
- [68] CEREDA, P.R.M.; ZORZO, S.D. Access Control Model Formalism using Adaptive Automaton. IEEE Latin America Transactions. Volume 6, Issue 5, ISSN: 1548-0992, September 2008.
- [69] Cereda, P. R. M. e Zorzo, S. D. SPA3: Um framework para privacidade. Memórias do WTA 2008 - Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2008.pdf>
- [70] P.R.M.Cereda. Servidor WEB adaptativo. Memórias do 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2011
- [71] P. R. N. Pedruzzi, R. A. Redder Jr. e J. J. Neto. Uma proposta do uso de adaptatividade para busca de padrões musicais. Memórias do 3º Workshop de Tecnologia Adaptativa – WTA'2009. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [72] P. S. M. Silva and J. J. Neto, "An Adaptive Framework for the Design of Software Specification Languages," in Proceedings of International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms – ICANNGA 2005, Coimbra, March 21-23 2005.
- [73] R. Camargo, Luís Raunheite. Usando adaptatividade na identificação de padrões. Memórias do WTA 2010 - Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2010.pdf>
- [74] Reginaldo I.S.Filho e Ricardo L.A. da Rocha. Uma proposta de aplicação da tecnologia adaptativa na teoria algorítmica do aprendizado. Memórias do WTA 2009 - 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf

- [75] Rocha, R. L. A. e Neto, J. J. Autômato adaptativo, limites e complexidade em comparação com máquina de Turing. In: Proceedings of the second Congress of Logic Applied to Technology - LAPTEC 2000. São Paulo: Faculdade SENAC de Ciências Exatas e Tecnologia, p. 33-48, 2001.
- [76] R. L. Stange, J. J. Neto. Reconhecimento de padrões em classificadores - comparação de técnicas e aplicações. Memórias do WTA 2010 - Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2010.pdf>
- [77] Renata Luísa Stange. Aprendizagem incremental utilizando Tabelas de Decisão Adaptativas. Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa.
- [78] Site do Projeto SIGUS - http://trac.gpec.ucdb.br/wiki/site_sigus
- [79] S.M.Melo, I.A.M.Rodrigues e A.A.de Castro Jr. Implementação de uma solução adaptativa para o problema do emparelhamento de cadeias. Memórias do WTA 2009 - 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [80] Silva, Salvador Ramos Bernardino da – Software Adaptativo: Método de projeto, representação gráfica e implementação de linguagem de programação - Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 2011.
- [81] Site do Projeto Topolino. http://trac.gpec.ucdb.br/wiki/site_topolino
- [82] W. C. M. Gomes e A. R. Camolesi. Visualizador gráfico para Redes de Petri Adaptativas. Memórias do WTA 2008 – Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2008.pdf>
- [83] Dizeró, Wagner José. Formalismos Adaptativos Aplicados na Modelagem de Softwares Educacionais. Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo, 2010.
- [84] Revista IEEE América Latina. Vol. 5, Num. 7, ISSN: 1548-0992 – Special Issue – Memórias do Primeiro Workshop de Tecnologia Adaptativa: WTA 2007 – Adaptive Technology Tutorial
- [85] Memórias do WTA 2008 - 2o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2008.pdf>
- [86] Memórias do WTA 2009 - 3o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias_wta2009.pdf
- [87] Memórias do WTA 2010 - 4o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2010.pdf>
- [88] Memórias do WTA 2011 - 5o. Workshop de Tecnologia Adaptativa. Disponível em <http://www.pcs.usp.br/~lta/artigos/memorias-wta2011.pdf>