

Ferramentas e Métodos para Apoiar o Ensino de Xadrez na Fronteira entre os Fundamentos e a Perícia

Francisco M. Aguiar, Alexandre I. Direne, Luis de Bona, Fabiano Silva,
André Guedes, Marcos Castilho, Marcos Sunyé, Laura García

C3SL/Centro de Computação Científica e Software Livre – Dep. de Informática – UFPR
Caixa Postal 19.081 – 81.531-990 – Centro Politécnico
Curitiba – PR – Brasil

xadrez-devel@inf.ufpr.br

Abstract. *This paper describes a software artefact wich aims at helping the chess master in teatching his/her skills to beginners. The rationale of such artefact emerged from past research claims that link the practice of Chess with the advantages of game playing for the development human logic reasoning abilities. Additionally, there are many complex problems in teaching and learning Chess. A literature review is presented, showing that only recently, some progress has been made in the field of Educational Games that support Chess training. However, even such novel contributions need more elaborate student and pedagogic models that embody capacities to diagnose learner actions and provide immediate feedback. A feasible solution for such problems and its application through the XadrEx prototype to a real world scenario are reported in this paper.*

Resumo. *Esse artigo apresenta um protótipo de software que tem por objetivo ajudar mestres enxadristas no ensino de suas habilidades aos iniciantes. A necessidade de tal protótipo partiu da constatação das vantagens do jogo de Xadrez no desenvolvimento do raciocínio lógico nos níveis de ensino fundamental e médio. Adicionalmente, há várias dificuldades no ensino e na aprendizagem de Xadrez. Uma busca na literatura existente foi realizada e verificou-se que só recentemente alguns resultados foram produzidos na área de jogos educacionais que apoiam o ensino de Xadrez na escolas. Todavia, tais resultados ainda carecem de um modelo pedagógico que diagnostique as ações do aprendiz ao longo de toda a partida e promova uma realimentação mais imediata às ações do aluno. É apresentada uma solução factível para tal problema assim como sua aplicação no mundo real por meio do sietema XadrEx.*

1. Introdução

Estudos demonstram que jogos heurísticos, ao contrário dos jogos “de azar”, são importantes na educação pois desencadeiam reflexões nos aprendizes e proporcionam construções significativas do ponto de vista cognitivo (Piantavini, 1999 e Bogatschov, 2001). O Xadrez, um jogo de regras de fundo heurístico, é reconhecido como um importante aliado da educação, tanto no desenvolvimento do raciocínio lógico, quanto

como atividade lúdica. Esse fato gerou iniciativas no sentido de introduzi-lo nas escolas, as quais têm dificuldades, entre outros motivos, pela escassez de instrutores de Xadrez. Contudo, essa escassez pode ser reduzida através de um Sistema Tutor Inteligente (STI) que apoie mestres enxadristas na criação de material eletrônico de ensino focado na aprendizagem tanto dos princípios e fundamentos como da perícia inicial (Lesgold *et. al.*, 1989) que o jogo requer.

Pesquisas em STI são desenvolvidas desde os anos 70 em vários domínios tais como aritmética, programação de computadores, álgebra, geometria e outros. Recentemente, pesquisas em STI que ensinam a jogar Xadrez foram realizadas porém são focadas em assuntos como a competição de heurísticas (Martineschen, 2006), de identificação da harmonia de peças (Hartmann *et. al.*, 2005), ou ainda, em finais de partidas envolvendo Bispo e Peões (Gadwal *et. al.*, 2000).

Esse artigo apresenta o sistema XadrEx – Expertise em Xadrez, um protótipo de software que disponibiliza linguagens e ferramentas de autoria para um instrutor humano registrar o seu conhecimento e ensinar princípios do jogo de Xadrez, além de apresentar exercícios (com retroalimentação ao longo de toda partida) para desenvolver a perícia do aprendiz no jogo. O protótipo XadrEx é a mais nova ferramenta que irá se juntar em breve ao material eletrônico de apoio já existente (também construído pelos autores deste artigo) no Projeto Nacional de Ensino do Xadrez nas Escolas Públicas Brasileiras nos níveis fundamental e médio, financiado pelos Ministérios da Educação e do Esporte (Martineschen *et. al.*, 2006).

2. Trabalhos correlatos

2.1. Diagnóstico automático das ações dos aprendizes

Para realizar seu objetivo de comunicar o conhecimento, os STI tornam-se um empreendimento multidisciplinar envolvendo várias áreas do conhecimento humano tais como: Epistemologia, Psicologia, Ciência da cognição humana, Inteligência artificial, Educação, Lingüística, Antropologia e Interação humano computador. Ainda assim, esses artefatos são difíceis de se construir e requerem anos de trabalho, entre outros motivos, porque ensinar ou apoiar o ensino é uma tarefa complexa.

A necessidade de diagnosticar as ações dos estudantes durante seu aprendizado é justificada através de vários estudos clássicos, entre eles o ACT* (Adaptive Control of Thought) de Anderson e seus colaboradores (Anderson *et. al.*, 1988). Essa teoria procura explicar como os aprendizes formam seus modelos cognitivos durante o processo de aprendizagem e de uma forma resumida postula que:

- as funções cognitivas podem ser representadas por regras de produção;
- o conhecimento pode ser do tipo declarativo ou procedural.
- inicialmente, o conhecimento é adquirido declarativamente através de instrução, comunicação ou observação.

Porém, o conhecimento declarativo não afeta diretamente o comportamento e, portanto, precisa ser convertido e reorganizado em conhecimento procedural, o que deve ocorrer através da experiência para então refletir-se em comportamento. Essa compilação do conhecimento adquirido via experiência pode se dar de duas formas: (a)

por proceduralização, quando um pedaço geral de conhecimento é convertido em uma produção específica para se aplicar em uma classe especial de casos; (b) por composição de regras, quando umas poucas regras usadas em seqüência para atingir uma meta são agrupadas em uma só regra que combina seus efeitos.

Além disso, segundo Anderson, existem 2 tipos de memória. Uma delas é a memória de longo prazo (*Long-Term Memory = LTM*), que, para efeitos práticos, pode ser considerada de tamanho infinito e onde são armazenadas as regras de produção após o processo de compilação. A outra delas é a de curto prazo (*Short-Term Memory = STM*), de tamanho limitado, que é utilizada como memória de trabalho e onde é armazenado o conhecimento declarativo anterior ao processo de compilação.

Decorre desse modelo a necessidade de, durante a prática do aluno, o tutor (automático) acompanhá-lo e intervir imediatamente caso ele cometa um erro, ou demonstre estar “bloqueado”. Uma intervenção tardia ou não existente pode levar o aprendiz a compilar o conhecimento de regras erradas.

Para a implementação desse modelo, Anderson desenvolveu o Lisp Tutor no qual utilizou um conjunto de produções organizadas em uma árvore E/OU que representa a forma correta com que um dado exercício – comandos de um programa na linguagem Lisp - deve ser resolvido pelo aprendiz. Associada a essa árvore existe um conjunto de regras incorretas – *bug catalogue* – que reflete erros conhecidos e, se a entrada do aprendiz não coincidir com a produção prevista, a ação tutorial para tratar o erro é ativada imediatamente (Anderson *et. al.*, 1988). Tal diagnóstico, onde o estudante é dirigido tão de perto pelo modelo, foi chamado de *model tracing* por Anderson. Entretanto, essa abordagem apresenta alguns problemas: (a) a construção de catálogo de erros que cobre todos os erros possíveis do aluno é, em geral, intratável (Self, 1988); (b) em alguns domínios, por exemplo nas fases de uma partida de Xadrez (início e meio do jogo), sabe-se que há uma melhor jogada mas não como obtê-la com precisão e, por conseguinte, a criação de catálogos de bugs é impossível, com raras exceções (Gadwal *et. al.*, 2000); (c) em domínios onde não é possível identificar uma única resposta correta devido às inúmeras características do objeto a ser ensinado, como é o caso de conceitos de radiologia médica (Direne e Scott, 2001), o paradigma *model-tracing* torna-se impraticável. Em função dessas limitações, Self (1988) sugere que o modelo do estudante seja menos imediatista e desempenhe o papel de “provocar os estudantes a considerar e questionar as justificativas e implicações de suas crenças”.

2.2. Perícia

A diferenciação entre as habilidades do perito e do novato em uma dada especialidade intriga os estudiosos de STI e da Psicologia cognitiva. Na área da Radiologia médica, trabalhos como os de Lesgold *et. al.* (1989) e de Direne e Scott (2001) mostram que: (a) o perito possui uma enorme base de modelos (características típicas de imagens associadas a doenças) em suas LTM, as quais foram construídas através do exame de 10.000 a 200.000 exemplares (chapas radiográficas); (b) esse conhecimento tende a ser adquirido indutivamente, isto é, novos modelos são construídos na LTM a partir dos casos observados na experiência diária e armazenadas na STM; (c) quando o perito examina uma nova chapa, as características que ele identifica são comparadas com aquelas armazenadas na LTM e, ao identificar características comuns, o perito estabelece

o diagnóstico (a doença mais provável); (d) o conhecimento obtido indutivamente pode apresentar erros devido à super-generalização.

Esses trabalhos sugerem ainda a existência de dois tipos de conhecimento: o de princípios e o experiencial. O primeiro se refere ao conhecimento formal obtido durante a formação básica profissional, antes dele se tornar um especialista. Por exemplo, na área médica, os conhecimentos de Anatomia, Fisiologia e de Teorias Gerais de Doenças são considerados princípios de Radiologia. O segundo envolve a integração desse conhecimento com a experiência para a obtenção de diagnósticos corretos em um curto espaço de tempo. Ao passo que o conhecimento de princípios é semelhante tanto ao perito quanto ao aprendiz, o conhecimento experiencial apresenta várias e fortes diferenças. Lesgold *et. al.* (1989) observa seis dessas características diferenciadoras, número que foi ampliado para quinze por Direne e Scott (2001).

A maneira como o perito da Radiologia médica raciocina e usa suas memórias parece não ser específica para esse profissional e pode, ressalvadas as peculiaridades de cada domínio, ser estendida e reaplicada para o enxadrista. Pesquisas específicas para o Xadrez (Hyötyniemi e Saariluoma 1999, Campitelli *et. al.* 2005, De Groot 1978, Burns 2004) permitem inferir que o raciocínio de um grande-mestre enxadrista é análogo ao do perito em Radiologia. Qual seja, o raciocínio de um grande-mestre não é muito mais profundo do que o do novato, sendo que a diferença básica entre eles está no fato do grande-mestre possuir uma vasta base de “casos exemplares e não exemplares” obtida ao longo de vários anos de prática e a utiliza ao realizar um lance.

Dessas pesquisas conclui-se que, seja na aprendizagem da Radiologia médica, seja na aprendizagem do jogo de xadrez, a exposição a casos exemplares e não exemplares através da prática com retroalimentação imediata é fundamental para o desenvolvimento da perícia.

2.3. Diálogos Tutoriais Automáticos

O tipo de diálogo utilizado nas intervenções tutoriais automáticas é muito importante no processo de aprendizado, podendo se refletir em um maior ou um menor valor cognitivo nas lições apresentadas. Durante essa pesquisa, identificou-se três abordagens diferentes. A primeira é característica dos sistemas construídos no paradigma *model-tracing*, que pode ser exemplificada pelo Lisp Tutor de Anderson e seus colaboradores (1988). Por trabalharem com catálogos de erros, suas intervenções são padronizadas e pré-arquivadas, sendo muitas vezes necessário o preenchimento de lacunas (*slots*) na sua apresentação e que, tipicamente, não permitem perguntas do estudante.

A segunda abordagem pode ser exemplificada pelo sistema desenvolvido por Isard (1974) para estudar como o tempo, o modo, aspectos e verbos modais são aplicados na língua inglesa. O programa é capaz de jogar Jogo da Velha, responder questões acerca do andamento do jogo, inclusive discutir situações hipotéticas no passado e no futuro e responder questões acerca de eventos possíveis e atuais. A diferença em relação à abordagem anterior se dá pela presença de um diálogo de longo prazo e de respostas a perguntas do oponente.

A terceira é um diálogo do tipo Socrático, característico de sistemas que tratam inconsistências nas entradas do aprendizes. Um exemplo é o sistema RUI (Direne e

Scott, 2001). O maior valor cognitivo deste tipo de diálogo se dá porque, além de manter a interação de longo prazo com os aprendizes, o sistema questiona suas crenças através de perguntas e respostas contextualizadas.

3. Sistema de autoria para o ensino de Xadrez

3.1. Conhecimento do domínio

O conhecimento do domínio, para efeito de construção de interfaces, foi categorizado em declarativo, experiencial e heurístico. Tanto o conhecimento declarativo – lições – quanto o conhecimento experiencial, na forma de exercícios que “fixam” o conhecimento declarativo, entram no sistema através de uma linguagem e interface específica. Essa linguagem é formada por marcações HTML (HyperText Markup Language) que controlam basicamente os estilos de apresentação, acrescida de comandos – padrão do XadrEx – que controlam seus comportamentos. Novos comandos podem ser criados por meio da linguagem do tutor, garantindo uma expansão do material de curso com o uso da ferramenta de autoria.

Ainda no registro do conhecimento experiencial, o tutor pode inserir partidas clássicas e comentá-las, utilizando a linguagem PGN (Portable Game Notation), para possibilitar ao aluno aprender pela exposição a casos exemplares e não exemplares. O conhecimento heurístico, quando formalizado, representa uma parte dos conhecimentos experienciais que levam o tutor automático a ser um perito em Xadrez. Sua especificação e apropriação pelo sistema (através de uma linguagem específica) é fundamental pois possibilita a configuração de uma partida contra o aprendiz, serve de base para a avaliação das jogadas do referido aprendiz e ainda fornece argumentos para a continuidade de um diálogo tutorial.

3.2. Conhecimento Pedagógico

O conhecimento pedagógico é constituído de um currículo e de retroalimentação automática às ações do aluno através de um diálogo tutorial semi-estruturado. O currículo foi organizado em Cursos (índice analítico de assuntos), Módulos (Rede de metas) e UI (Unidades instrucionais de conhecimento) que agregam Lições e Exercícios. Na implementação desse currículo, as relações de composição (no sentido de Orientação a Objetos) e dependência entre objetos (um Curso, um Módulo ou uma UI) foram simplificadas através de três hipóteses: (a) a relação de composição é uma árvore, isto é, um módulo pertence a um e só um curso e uma UI pertence a um e só um módulo; (b) a relação de dependência só existe entre irmãos na árvore de composição, isto é, uma lição não pode depender de uma lição pertencente a outro módulo; (c) a relação de dependência é uma árvore, isto é, um curso, módulo ou UI depende somente de um e só um curso, módulo ou UI.

A hipótese *c* permite implementar a relação de dependência através de um simples atributo, que indica qual é o pré-requisito para esse objeto. Porém, por meio dela, não se ordena, por exemplo, as possíveis lições que têm por pré-requisito uma certa lição. Para contornar essa limitação, deve-se informar o grau de dificuldade de forma que entidades mais fáceis sejam apresentadas em primeiro lugar. A partir do exposto, o sistema define um conjunto de cursos, módulos e UI pedagogicamente ordenadas a partir

de pré-requisitos e graus de dificuldade para serem apresentadas ao aprendiz. A partir da comparação entre a avaliação realizada na prática com um valor objetivo, estabelecido pelo tutor, o sistema define a próxima lição a ser apresentada e assim sucessivamente até o final do currículo.

O sistema provê uma retroalimentação imediata às ações do aprendiz através de comentários de suas ações. O aprendiz pode escolher uma das seguintes opções: (a) nenhum comentário; (b) comentário tático; (c) comentário do lance e a mistura das opções *b* e *c* como comentário integrado. O comentário tático (ver Figura 1) é criado preenchendo-se lacunas (*slots*) em um texto padrão por conteúdos obtidos na comparação entre os valores das componentes heurísticas antes e após o movimento de peça do aprendiz.

A previsibilidade, característica dessa técnica, é evitada através de variações no texto conforme as variações de valores, número e tipos de comandos associados às trinta e duas componentes heurísticas que foram possivelmente afetadas pelo lance do aprendiz e, também, pelo acréscimo ou não de comentários do tutor. A tática do aluno não é avaliada no paradigma *model-tracing*, até por não se saber com precisão qual é o lance plausível “mais correto” em um jogo como o de Xadrez. Porém, ao apontar quais as posições do tabuleiro, sob que critérios e com que intensidade o jogo é afetado por um lance, esses comentários atuam no sentido de “provocar os aprendizes a considerar as justificativas e implicações de suas crenças” (Self, 1988). No lance 12B da Fig. 1, o aprendiz moveu sua *Dama* da posição “4I” (convenção posicional do XadrEx) para a posição “14” com um *Xeque*, mas além disso, defendeu o peão que estava isolado em “34”. O sistema chama a atenção do aprendiz para esse fato que talvez não fizesse parte das crenças dela quando fez o movimento originalmente.

12P:- *XadrEx* jogou: 3736.

12B:- *ap* jogou: 4114. **Xeque.** Esse foi um bom lance pois aumentou sua pontuação de 503 para 519 pontos (+3%).

Aspectos que devem ser observados:

1) Peões *defendido* aplicável em quaisquer estágio do jogo e na região 3138 do tabuleiro, aumentou 16 pontos. Estude a(s) posição(ões): 34 (de -16 para 0).

Tutor: Se nenhuma peça defende o peão dizemos que ele está isolado. Como você melhorou nesse quisito você deve ter eliminado a defesa de um peão adversário, ou defendeu um seu peão que estava isolado.

-->O desdobramento a LP do seu lance revelou ser um péssimo lance(0%). Um lance mais adequado seria 4243.

Fig. 1 – Exemplo de comentário no XadrEx

No Comentário do lance, o sistema estima a melhor jogada para o aprendiz através da utilização do algoritmo Minimax (modificado para apresentar uma lista de jogadas possíveis e seus valores heurísticos) e tece comentários a partir da comparação entre o valor obtido para o melhor lance e o valor obtido pelo lance do aprendiz. Daí, é possível criar o fragmento de diálogo que continua depois da “→” na mesma Figura 1, o qual mostra o afastamento quantitativo do melhor lance e também qual o melhor lance. Adicionalmente, vale ressaltar aqui que não há um comentário para o *Xeque* (opção feita pelo aprendiz) porque o tutor não criou uma heurística única para o “*Xequês*” (já que estes podem ser inócuos por si só).

3.3. Modelo do estudante

As informações sobre o comportamento do aprendiz para uma ação tutorial efetiva são divididas em: (a) avaliação do conhecimento declarativo, a qual é realizada por testes do tipo múltipla escolha, preenchimento de caixa de texto, etc.; (b) avaliação de táticas e lances a qual é realizada medindo-se o afastamento do valor Minimax do lance do aluno em relação ao valor do melhor lance obtido pelo algoritmo Minimax.

Mais detalhes sobre a capacidade de capturar detalhes granulares do comportamento do aprendiz podem ser encontrados em um dos relatórios técnicos (Aguiar, 2007) resultantes do projeto maior desta pesquisa.

4. Resultados obtidos

O protótipo XadrEx encontra-se em fase de desenvolvimento e testes piloto já foram efetuados. Assim como o restante do material eletrônico de apoio ao Projeto Nacional de Ensino de Xadrez nas Escolas Públicas, ele poderá ser utilizado por mais de mil e duzentos instrutores humanos e seus aprendizes. Constatou-se que é possível criar unidades instrucionais organizadas em Cursos, Módulos, Lições e Exercícios com rapidez, bom controle de estilo e com a apresentação de telas para o domínio de Xadrez.

Também, constatou-se que o registro de heurísticas possibilitou o desenvolvimento de interações competitivas contra a máquina com retroalimentação automática ao longo de toda a partida (início, meio e fim). Esses resultados sugerem que, após a sua implantação, haverá maior rapidez e disponibilidade de cursos de Xadrez e, em decorrência, mais adeptos e maior participação das escolas nos campeonatos.

5. Conclusões

Esse artigo enfocou um protótipo de STI que deverá ajudar instrutores enxadristas do mundo real de Xadrez nas escolas a criar cursos para o ensino de conhecimentos declarativos e experienciais na área do jogo de Xadrez. Suas principais características são: (a) independência do domínio baseada em ferramentas que possibilitam ao autor de curso expandir os conteúdos cognitivos do sistema pela inclusão de lições, comandos, e heurísticas; (b) retroalimentação imediata através do monitoramento das ações do aprendiz ao longo de toda uma partida; (c) um grande alcance de usuários pois sua construção em Software Livre e ambiente Web o torna disponível para uma grande faixa de classes de aprendizes e instrutores em suas respectivas posições geográficas.

Entretanto, a construção de STI é uma tarefa complexa, cara e exige grande tempo de maturação. Assim, identificou-se duas áreas para pesquisas futuras. A primeira delas se concentra na linguagem de autoria, a qual é puramente procedimental e pouco apropriada ainda para mestres enxadristas. Isso exigirá, via de regra, a criação de equipes multidisciplinares para o projeto e a definição da nova linguagem assim como de extensos testes de criação dos cursos com a mesma. A segunda grande área se concentra no diálogo tutorial. Embora as ações do aprendiz sejam avaliadas e comentários sobre suas táticas sejam apresentados, não há ainda a possibilidade de réplica do aprendiz para o comentário do XadrEx sobre um mesmo lance da partida. Pesquisas futuras devem determinar se as informações obtidas pelo sistema em resposta à ação do aprendiz são suficientes para o XadrEx conduzir diálogos contextualizados no longo prazo.

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, F. M. Ferramentas e métodos para apoiar o ensino de Xadrez na fronteira entre os fundamentos e a perícia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Informática, UFPR (Universidade Federal do Paraná). 2007.
- ANDERSON, J.R., CORBETT, A. T., PATTERSON, E. G. Student Modeling and Tutoring Flexibility in the Lisp Intelligent Tutoring System. Conference on Intelligent Tutoring Systems, Quebec, Montreal. 1988. pag 83-106.
- BOGATSCHOV, D. N. Jogos computacionais e de ação e a construção dos possíveis em crianças do ensino fundamental. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação. 2001.
- BURNS, B. D. The Effects of Speed on Skilled Chess Performance. Michigan State University. 2004.
- CAMPITELLI, G., GOBET, F., PARKES, A. Structure and Stimulus Familiarity: A Study of Memory in Chess-Players with Functional Magnetic Resonance Imaging. The Spanish Journal of Psychology. 2005. Vol. 8, No. 2, 238-245.
- De GROOT, A. D. (1978). Thought and choice in chess (2nd English ed.; first Dutch edition published in 1946). The Hague: Mouton Publishers.
- DIRENE, A., SCOTT, D. Identifying the component features of expertise in domains of complex visual recognition. Information Technology Research Institute Technical Report Series. Univ. of Brighton, Lewes Road, Brighton, UK, 2001.
- GADWAL, D., GREER, J. E., MCCALLA, G. Tutoring Bishop-Pawn Endgames: An Experiment in Using Knowledge-Based Chess as a Domain for Intelligent Tutoring. Department of Computational Science. University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canadá, 2000.
- HARTMANN, C. M., DIRENE, A., BONA, L., SILVA, F., SANTOS, G., CASTILHO, M., SUNYE, M., GUEDES, A. Linguagem e ferramenta de autoria para promover o desenvolvimento de perícias em Xadrez. Anais do SBIE-2005, p. 656-665, 2005.
- HYÖTYNIEMI, H., SAARILUOMA, P. Chess – Beyond the Rules. Control Engineering Laboratory. Helsinki Univ. of Tech, 1999.
- ISARD, S. What would you have done if ... ? Theoretical Linguistics, Vol 1, 1974, pg. 233-256.
- LESGOLD, A., RUBINSON, H., FELTOVICH, P., GLASER, R., KLOPFER, D., WANG, Y. Expertise in a Complex Skill : Diagnosing X-Ray Pictures. Em M. Chi, R. Glasser, and M. Farr, editores, The Nature of Expertise. Lawrence Erlbaum, 1989.
- MARTINESCHEN, D., DIRENE, A., BONA, L., SILVA, F., CASTILHO, M., GUEDES, A., SUNYE, M. Conceitos e ferramentas para aquisição de conhecimento sobre heurística de jogos através de atividades competitivas. Anais do WIE-2006, p. 1-10, 2006.
- PIANTAVINI, F. N. O. Jogo de regras e construção de possíveis : Análise de duas situações de intervenção psicopedagógica. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, 1999.
- SELF, J.A. Bypassing the Intractable Problem of Student Modeling. Conference on Intelligent Tutoring Systems, Quebec, Montreal, 1988, p 107-123.