

Modelando propriedades dinâmicas de sistemas: comparação entre duas abordagens

Carlos A. Heuser

Universidade Federal do Rio Grande do Sul*
Departamento de Informática – Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação
Caixa Postal 1501
90001 Porto Alegre RS
Tel: (0512)218499
Telex: (051)2680 CC UF
Cirandão: 6007/UFRGS-HEUSER

Resumo

Duas abordagens de modelagem de propriedades dinâmicas de sistemas, a Formação de Procedimentos da Engenharia de Informações e as Redes de Petri, são analisadas comparativamente. A comparação considera a aplicação destas abordagens na modelagem conceitual de sistemas de informação. Na conclusão do trabalho, favorável às Redes de Petri, é discutida a utilização de Redes dentro da Engenharia de Informação.

1 Introdução

As propriedades de sistemas modelados na área de sistemas de informação, e, em geral, na área de sistemas discretos, podem ser divididas em duas grandes categorias. As propriedades **estáticas** de um sistema se referem aos **estados** que o mesmo pode assumir, enquanto que as propriedades **dinâmicas** se referem às **transições** entre os estados do sistema.

As metodologias de análise e projeto de sistemas que hoje são empregadas, desenvolvidas, em sua grande maioria, na década de 70, dão normalmente ênfase a apenas um destes tipos de propriedades, relegando o outro a um segundo plano. Assim, as metodologias provenientes da área da modelagem de banco de dados, como aquelas construídas ao redor do modelo Entidade/Relacionamento (E/R) de Chen³, enfatizam a descrição dos estados do sistema, através de modelos de dados. Já as metodologias provenientes da área da análise e projeto de sistemas de informação, como p.ex. a análise estruturada de Gane⁵, concentram-se na modelagem das propriedades dinâmicas, não ficando explicitadas as propriedades dos estados do sistema. Particularmente afetados por este estado de coisas são aqueles que desenvolvem aplicações em ambientes de integração de dados, pois eles necessitam tanto a explicitação das propriedades estáticas (o modelo de dados), que ser-

* Este trabalho possui financiamento parcial do CNPq, da FINEP e da SID Informática (Projeto Estru)

vem de base ao projeto da base de dados, quanto as propriedades dinâmicas, sobre as quais se baseia o projeto das aplicações que são executadas sobre a base de dados.

Tendo sido reconhecida esta situação, surgiram, nos últimos anos, propostas de metodologias integrando a modelagem de propriedades estáticas com a modelagem de propriedades dinâmicas. Uma destas propostas, que encontra considerável repercussão na prática, é a **Engenharia de Informação** (EI) de Finkelstein e Martin^{4,1}. A metodologia é claramente voltada a dados, a informações, baseando-se na suposição, fundamental do enfoque de banco de dados, de que, em uma organização, as propriedades estáticas (o modelo de dados), tendem a ser mais estáveis contra mudanças que as propriedades dinâmicas (as aplicações executadas sobre os dados). Entretanto, a metodologia não despreza a modelagem de propriedades dinâmicas.

A modelagem de propriedades dinâmicas aparece dentro da EI em uma etapa denominada **Formação de Procedimentos** (FP), que segue às etapas de modelagem de propriedades estáticas, usualmente feitas com auxílio da abordagem Entidade/Relacionamento. No presente trabalho, a técnica de Formação de Procedimentos é analisada criticamente, sendo detectados alguns problemas da mesma, como ferramenta de modelagem conceitual de propriedades dinâmicas. Como alternativa à Formação de Procedimentos é sugerida a utilização de **Redes de Petri**, uma técnica de modelagem de propriedades dinâmicas, largamente difundida na engenharia de hardware e que agora começa a encontrar aplicação também na engenharia de software.

2 Formação de Procedimentos dentro da Engenharia de Informação

A Engenharia de Informações, como metodologia moderna de análise e projeto de sistemas, parte do reconhecimento de que grande parte dos erros em sistemas de processamento de dados são causados por especificações incorretas, e de que o custo de correção destes erros é muito maior que o de correção de erros por outras causas (projeto incorreto, codificação incorreta, etc.). Baseada neste reconhecimento e na evidência de que o grande conhecedor da aplicação é o próprio usuário, a EI enfatiza as etapas de planejamento, análise e especificação procurando envolver ao máximo o usuário dentro destas etapas.

Fase	Etapas
Planejamento	Planejamento estratégico
Especificação	Análise de informações Análise de dados Formação de Procedimentos Análise do uso de dados
Projeto	Análise de distribuição de dados Projeto de banco de dados Especificação de programas

Figura 1: Visão geral da Engenharia de Informação

Nas suas fases iniciais (veja visão geral na figura 1), a EI se concentra nas propriedades estáticas, até chegar a um modelo de dados detalhado, ao final da etapa de análise de dados. Em cima deste modelo, que pode ser construído segundo a abordagem E/R, é feita, em conjunto com o usuário, a **Formação de Procedimentos**, objetivando coletar as propriedades dinâmicas do sistema.

Para dar um exemplo considera-se um sistema simplificado de registro do que acontece em um mercado de trabalho. O objetivo do sistema é registrar a oferta de vagas de trabalho e de mão-de-obra, bem como registrar os contratos de trabalho que são fechados. As etapas iniciais da Engenharia de Informações, que antecedem à Formação de Procedimentos, poderiam conduzir a um diagrama Entidade/Relacionamento como aquele apresentado na figura 2. Este diagrama informa os estados que o sistema pode assumir (as propriedades estáticas do sistema). Ele informa, por exemplo, que uma vaga pode estar fora ou dentro do mercado de trabalho, mas não em ambas situações ao mesmo tempo. Note-se que no modelo faltam as propriedades dinâmicas. Por exemplo, não está dito como uma vaga passa de fora para dentro do mercado de trabalho. Assim, tem-se uma definição das informações utilizadas no sistema modelado, sem entrar em detalhes

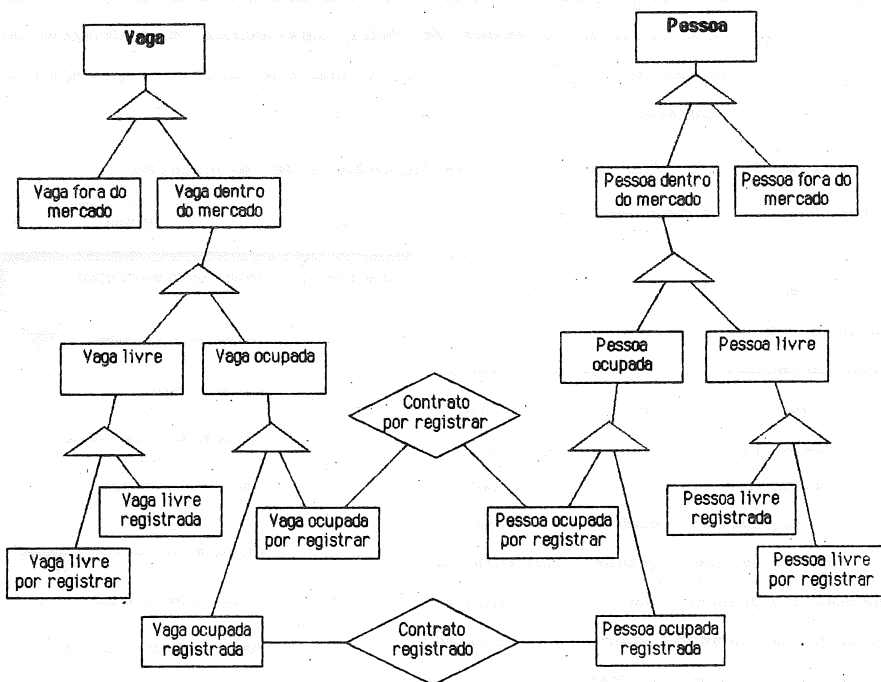


Figura 2: Diagrama E/R do mercado de trabalho

de como estas informações estão representadas em uma implementação específica.

O objetivo da FP é o de, sobre o diagrama E/R e com ajuda do usuário, identificar os **procedimentos** executados dentro do sistema. Um procedimento é composto por **eventos** (quando necessário, estes eventos serão chamados eventos-FP, para distingui-los dos eventos definidos pelas Redes de Petri). Cada evento é uma ação isolada sobre uma entidade/relacionamento do modelo E/R ou então sobre as entradas/saídas do sistema. Um exemplo de procedimento, para o sistema de mercado de trabalho, é dado pela figura 3, o **diagrama de eventos** do procedimento que registra o fechamento de um contrato de trabalho. Neste diagrama as elipses representam os eventos e as setas indicam a sequência de acontecimentos destes eventos. Os eventos indicados por siglas na forma "EEn" (onde "n" é um número) são eventos **externos**, ou seja eventos de aquisição/exibição de informações na interface do sistema automatizado com seu meio ambiente. Os eventos indicados por siglas na forma "EXn" são eventos de **exceção**, que correspondem à detecção de um erro no procedimento. Finalmente, os eventos indicados por siglas na forma "En" são eventos **internos**, que tratam conjuntos de entidades/relacionamentos do diagrama E/R. Cada evento interno pode acessar somente um conjunto de entidades/relacionamentos.

Pedido P1: Registro de Contrato

Os eventos indicados por siglas na forma "EEn" (onde "n" é um número) são eventos **externos**, ou seja eventos de aquisição/exibição de informações na interface do sistema automatizado com seu meio ambiente. Os eventos indicados por siglas na forma "EXn" são eventos de **exceção**, que correspondem à detecção de um erro no procedimento. Finalmente, os eventos indicados por siglas na forma "En" são eventos **internos**, que tratam conjuntos de entidades/relacionamentos do diagrama E/R. Cada evento interno pode acessar somente um conjunto de entidades/relacionamentos.

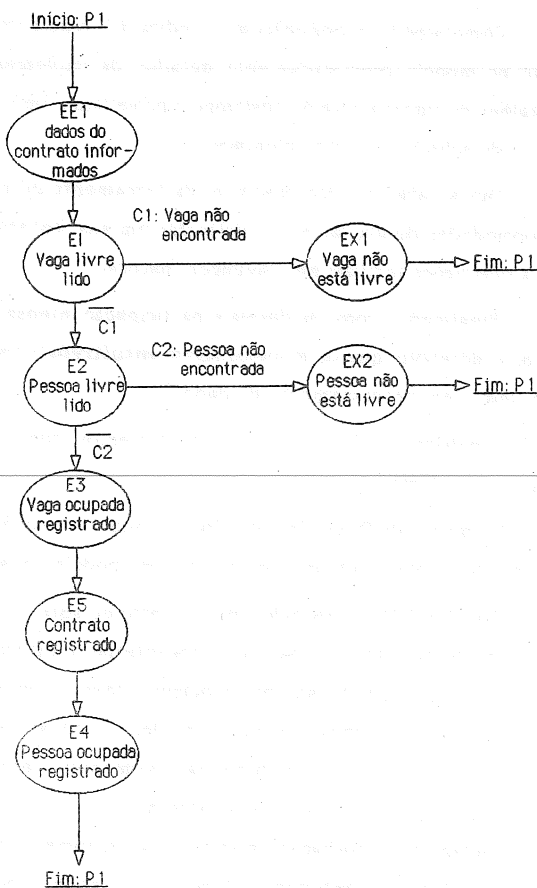


Figura 3: Formação de Procedimentos — Diagrama de eventos
 Quando, partindo de um evento, existirem diversos eventos sucessores, como é o caso do evento EI do exemplo, são indicadas condições para a escolha de um dos possíveis eventos sucessores. Uma introdução de-

talhada à FP, incluindo instruções de como executá-la, é dada por Cevallos².

3 Análise da Formação de Procedimentos

Para avaliar a FP é necessário que sejam lembradas as características que, ao menos idealmente¹¹, uma ferramenta de modelagem conceitual de propriedades dinâmicas deve possuir.

A primeira característica, básica, é a da **exatidão**. A ferramenta deve permitir a construção de modelos exatos e claros, que não deixem margem a interpretações ambíguas.

Como a palavra **conceitual** já indica, a ferramenta não deve obrigar o analista a incluir no modelo, prematuramente, detalhes de implementação. Um modelo que já contém detalhes de implementação restringe o projetista e implementador na sua liberdade de escolha de soluções de implementação.

Outra característica desejável da ferramenta de modelagem é a de permitir que as propriedades dinâmicas sejam definidas em sua **totalidade**, evitando-se, assim, o recurso a descrições textuais em linguagem natural.

Finalmente, como se deseja a participação intensa do usuário no processo de modelagem, é desejável que os modelos sejam **intuitivos** e facilmente compreensíveis, também por leigos em processamento de dados.

Analisando a Formação de Procedimentos frente a estas características, encontra-se alguns problemas:

- A Formação de Procedimentos força o analista a construir modelos que estão excessivamente próximos da implementação. Isto pôde ser visto em dois pontos:
 - Na FP é feita a distinção entre a parte do sistema a implementar em computador e a parte não automatizada (eventos internos e externos, etc.). Com isso o usuário é obrigado, já prematuramente, a decidir até que ponto a sua aplicação será automatizada e fixar esta decisão dentro do modelo. Isto traz consigo diversos inconvenientes. Uma futura mudança do sistema para aumentar o escopo da automatização exigirá nova execução da Formação de Procedimentos, pois a interface do sistema mudará. A modelagem de operações manuais, não automatizadas, não é realizada dentro da Formação de Procedimentos, ficando de fora da modelagem. Da mesma forma, as ações do usuário do sistema automatizado não são modeladas. Esta falta é grave, pois se sabe o quão importante é o conhecimento das ações do usuário para a escolha de uma implementação eficiente (seqüências de ações do usuário, paralelismo ou não destas ações, calendário da aplicação, etc.).
 - A Formação de Procedimentos exige que o analista escolha uma determinada se-

quência de execução de eventos, mesmo que estes, do ponto de vista do sistema, possam acontecer independentemente. Este é o caso, no exemplo da figura 3, dos eventos E1 e E2 que podem acontecer em qualquer sequência (o mesmo vale para os eventos E3, E4 e E5). Obviamente esta é uma típica decisão de implementação. Sendo tomada prematuramente, ela pode impedir a escolha de uma sequência de eventos que leve a uma implementação mais eficiente, ou até que seja exigida por algum SGBD específico (alguns sistemas exigem a inclusão de registros antes da inclusão dos relacionamentos entre estes registros).

- Propriedades dinâmicas importantes não são levantadas pela Formação de Procedimentos. Além da falta, já citada, das operações não automatizadas, falta uma visão geral do sistema, mostrando o relacionamento entre os diversos procedimentos que compõe o sistema, mostrando sua sequência de acontecimentos, a interdependência entre os mesmos, etc.

Resumindo, como ferramenta de modelagem de propriedades dinâmicas, a Formação de Procedimentos não preenche duas características desejáveis neste tipo de ferramentas: as características de **conceitualidade** e de **totalidade**.

4 As Redes de Petri dentro da Engenharia de Informação

Como alternativa à Formação de Procedimentos, é sugerida, neste trabalho, a utilização de **Redes de Petri (RP)**. Redes de Petri, como ferramenta de modelagem de propriedades dinâmicas, já são largamente difundidas na área de hardware. Na área do software, principalmente na área de sistemas de informações, elas vêm encontrando aplicação somente nos últimos anos, principalmente depois da introdução das chamadas **Redes de Petri de alto-nível**^{6,10,9}. Como já indicado em 7, as Redes de Petri podem ser usadas convenientemente também para a modelagem de propriedades estáticas de sistemas, e, até mesmo, como indicado em 8, em combinação com ferramentas de modelagem de propriedades estáticas já existentes, no caso citado, em combinação com a abordagem E/R.

A figura 4 mostra uma Rede de Petri, usada em combinação com um diagrama E/R. O diagrama E/R, indicado no desenho pelas linhas com padrão pontilhado, é o da figura 2, tendo sido suprimidos alguns detalhes (as generalizações) apenas para não sobrecarregar a figura. A Rede de Petri tem como objetivo definir **eventos** (ou eventos-RP para não confundir com os eventos-FP da Formação de Procedimentos), cuja ocorrência altera o conteúdo de conjuntos de entidades e/ou relacionamentos. Estes eventos são definidos pelas **conexões** da Rede de Petri, representadas na figura por retângulos. Exemplificando, a conexão *cr₁* da figura 4 define, para cada vaga, um evento, cuja ocorrência resulta no desaparecimento da vaga do conjunto de entidades "Vaga fora do mercado" e no coincidente

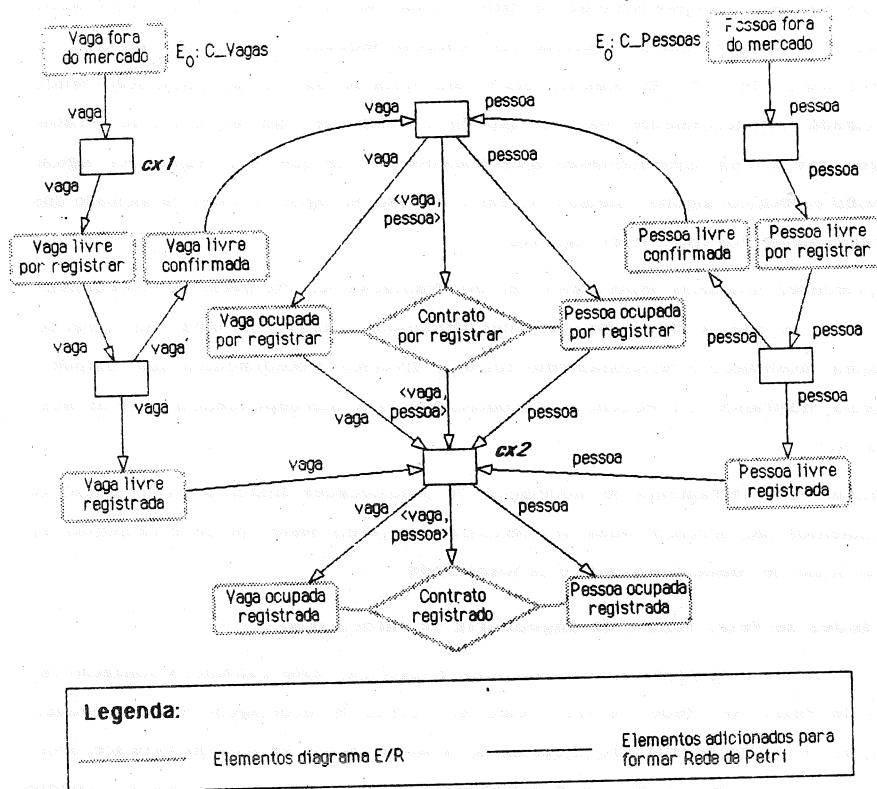


Figura 4: Rede de Petri combinada com diagrama E/R para o mercado de trabalho

aparecimento da mesma vaga no conjunto de entidades "Vaga livre por registrar". Esta conexão define, portanto, os eventos de entrada de vagas no mercado de trabalho.

A regra de funcionamento de uma Rede de Petri é simples: Um evento pode acontecer (se diz, está **habilitado**) quando as suas entidades/relacionamentos de entrada (aquelas, as quais com o acontecer do evento desaparecem) estiverem presentes e quando as suas entidades/relacionamentos de saída (as que desaparecem) estiverem ausentes. Não está dito, no modelo, quando um evento acontece, apenas que ele pode acontecer. Eventos que não possuem entidades/relacionamentos de entrada ou saída comuns são independentes entre si e podem acontecer concorrentemente, caso ambos estejam habilitados.

O modelo tem um estado inicial que é indicado através das anotações "E₀". No caso do mercado de trabalho, no estado inicial, todas as vagas e todas as pessoas estão fora do mercado (os conjuntos de entidades "Vaga fora do mercado" e "Pessoa fora do mercado")

Feita esta introdução sucinta às Redes de Petri (para maiores detalhes, ver a literatura) pode-se passar a uma discussão comparativa das Redes em relação a Formação de Procedimentos. Como ferramenta de modelagem conceitual de propriedades dinâmicas de sistemas, as Redes de Petri apresentam uma série de vantagens sobre a Formação de Procedimentos:

-
- Diagrama de fluxo de dados para o processo de contratação de mão de obra. O diagrama mostra a interação entre entidades externas (Vaga fora do mercado, Pessoa fora do mercado) e processos internos (cx1, cx2) através de fluxos de dados. Estados de dados são representados por retângulos e processos por losângulos. O processo cx1 gerencia vagas, passando por estados como 'Vaga livre por registrar', 'Vaga livre confirmada', 'Vaga ocupada por registrar' e 'Vaga ocupada registrada'. O processo cx2 gerencia pessoas, passando por estados como 'Pessoa livre por registrar', 'Pessoa livre confirmada', 'Pessoa ocupada por registrar' e 'Pessoa ocupada registrada'. Ambos os processos convergem para um estado final 'Contrato registrado'.

- 469 -

relacionamentos que serão implementados pela base de dados em computador (no caso do exemplo, os conjuntos cujo nome termina com a palavra "registrada": "Vaga livre registrada", ...), os conjuntos de entidades/relacionamentos que compõe a interface entre o usuário e a parte automatizada (no exemplo, os conjuntos de entidades/relacionamentos cujos nomes terminam com "por registrar" ou "confirmada"), e, finalmente os conjuntos de entidades/relacionamentos que ficam no meio ambiente do sistema automatizado. Note-se, que assim a Rede de Petri é estável quanto a mudanças no posicionamento da interface do usuário, isto é quanto a mudanças na abrangência da automação do sistema, o que não é o caso dos diagramas obtidos pela Formação de Procedimentos.

- Com as Redes de Petri trabalha-se em um nível mais conceitual, mais abstrato, do que com a Formação de Procedimentos. Não há, nas Redes de Petri, a restrição de que um evento tenha, como entrada/saída, uma entidade/relacionamento apenas, nem a obrigação de sequencializar todos eventos. Assim, o registro do fechamento de um contrato, que na Formação de Procedimentos havia exigido todo procedimento da figura 3, é representado na Rede de Petri por um tipo de evento apenas, definido pela conexão cx_2 .
- Com a Rede de Petri obtém-se uma descrição completa do sistema, o que não é o caso da Formação de Procedimentos, na qual falta o relacionamento entre os diversos procedimentos.
- A médio e longo prazo as chances de surgirem ferramentas automatizadas para a construção e principalmente para a análise de modelos é maior nas Redes de Petri, pois sobre elas estão sendo realizados os maiores esforços de pesquisa e desenvolvimento.

5 CONCLUSÕES

O artigo compara duas ferramentas de modelagem de propriedades dinâmicas de sistemas, a Formação de Procedimentos e as Redes de Petri, considerando sua utilização dentro de uma metodologia abrangente de análise e projeto de sistemas, a Engenharia de Informações, e levando em conta as características desejáveis de ferramentas deste tipo¹¹.

Um ponto que propositalmente não foi discutido na comparação, por ficar em um plano muito subjetivo, é o da facilidade de aprendizado das ferramentas por parte de usuários leigos. Fica registrado, apenas, que ambas ferramentas se baseiam em alguns poucos conceitos simples e que ambas apresentam seus modelos em termos de diagramas. características que normalmente facilitam o aprendizado e compreensão.

Resumindo, a comparação entre as duas ferramentas mostrou que com as Redes de Petri é possível obter modelos em um nível de abstração mais adequado às necessidades

da Engenharia de Informações, bem como, que com as Redes podem ser obtidos modelos mais completos do problema a resolver.

Frente a estas conclusões, é sugerida a substituição, dentro da Engenharia de Informações, da Formação de Procedimentos por Redes de Petri combinadas com diagramas Entidade/Relacionamento. Entretanto, para permitir esta substituição, mais algumas investigações são necessárias:

- O trabalho de integração das Redes de Petri com a abordagem Entidade/Relacionamento iniciado em 8 deve ser completado. Falta investigar como modelar a alteração de atributos, bem como a forma de tratar algumas extensões à abordagem original de Chen que aparecem em muitos dialetos do E/R, como a abstração, a generalização, e outros.
- Deve ser desenvolvida uma técnica, envolvendo usuários leigos, para obtenção da Rede de Petri, a partir do diagrama E/R. Um caminho promissor, que pode ser seguido, é o de procurar adaptar ao caso da Redes de Petri a técnica descrita em 2 para a Formação de Procedimentos.

Finalmente, cabe mencionar, a possibilidade de se usar a Formação de Procedimentos em combinação com as Redes de Petri. Dentro desta abordagem, as Redes de Petri seriam utilizadas como ferramenta de modelagem conceitual, para análise e especificação. Confeccionada a Rede de Petri do sistema, usar-se-ia a Formação de Procedimentos para o projeto de procedimentos a serem implementados, provavelmente de forma bastante direta, em linguagem de 4ª geração. Neste caso, a Formação de Procedimentos seria uma ferramenta de projeto e não de modelagem conceitual, e seria usada estritamente pelo pessoal de processamento de dados, exatamente por envolver problemas de implementação. Dentro desta abordagem, poder-se-ia considerar o procedimento do diagrama de eventos da figura 3 como sendo uma implementação para os eventos-RP definidos pela conexão cx_2 da Rede de Petri da figura 5.

Bibliografia

1. Bastos Fº, E. A.: "Engenharia de Informações" - Uma proposta integrada para a informatização das organizações. In: *Anais do XX Congresso Nacional de Informática* São Paulo, SUCESU-SP (1986) 149-155.
2. Cevallos, J.T.: *Manual da Formação de Procedimentos* (Publicação interna) Porto Alegre, Cia. Proc. Dados PROCERGS (1986).
3. Chen, P.P.-S.: The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems* 1:1 (1976) 9-36.
4. Finkelstein, C. & Martin, J.: *Principles of Information Engineering*. New Jersey, Prentice-Hall (1982) 2 vol.

5. Gane, C. & Sarson, T. *Análise Estruturada de Sistemas* Rio de Janeiro, Livros Tecnicos e Científicos (1983).
6. Genrich, H.J. & Lautenbach, K.: System Modelling with High-level Petri Nets. *Theoretical Computer Science* vol. 13 (1981) 109-136.
7. Heuser, C.A. & Richter, G.: On the Relationship between Conceptual Schemata and Integrity Constraints on Databases. In: Steel, T.B. & Meersman, R. (eds.): *Database Semantics (DS-1)* North-Holland, Amsterdam (1986) 27-39.
8. Heuser, C.A.: Integrando Propriedades Estáticas e Dinâmicas no Modelo Conceitual. In: *2º Simpósio Brasileiro de Banco de Dados* Porto Alegre, UFRGS/SBC (1986).
9. Heuser, C.A.: Análise Estruturada de Sistemas com Redes de Petri. In: *Anais do XX Congresso Nacional de Informática* São Paulo, SUCESU-SP (1986).
10. Richter, G. & Durchholz, R.: IML-inscribed High-level Petri Nets. In: Olle, T.W. et. al. (eds.): *Informations Systems Design Methodologies: a Comparative Review*. Amsterdam, North-Holland (1982) 363-375
11. Van Griethuysen, J.J. (ed.): *Concepts and Terminology for the Conceptual Schema and the Information Base* Publication Number ISO/TC97/SC5-N695. New-York, ANSI (1982).