

APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE REDES C/A AO MODELO PRODUCTION FLOW SQUEMA (PFS)

HENRI CARLO BELAN¹, KAROL MUÑOZ SALAS², VICTOR JULIANO DE NEGRI².

1. *Campus Chapecó, Instituto Federal de Santa Catarina,
89.813-000, Seminário, Chapecó - SC, Brasil
E-mail: henri@ifsc.edu.br*

2. *LASHIP, Depto. de Eng. Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina
88040-900, Trindade, Florianópolis - SC, Brasil
E-mails: kmunoz@das.ufsc.br, victor.de.negri@ufsc.br*

Abstract— This paper has the purpose of contribute to the process of structural and functional modeling of technical systems, especially when applied to the conceptual design phase of control and automation systems. Thus, this paper evaluates whether the analysis methods of structural coherence and the resource flow coherence, developed for the Channel Agency nets - C/A net, are applied to the Production Flow Schema-PFS model. Considering the premise that these two models are equivalent, this work initiates a discussion of the aggregation of the techniques developed for each of these. The adherence of the analysis methods will be verified on a model of the extraction process of sugarcane juice.

Keywords— system modeling, model analysis, Petri nets, PFS, C/A net.

Resumo— Este trabalho tem o intuito de contribuir para o processo de modelagem funcional e estrutural de sistemas técnicos, especialmente quando aplicados à fase de projeto conceitual de sistema de controle e automação. Neste sentido, este trabalho pretende avaliar se os métodos de análise de coerência estrutural e de coerência de fluxo de recursos, desenvolvidos para as redes Canal Agência –rede C/A, são aplicados ao modelo *Production Flow Schema* –PFS. Considerando a premissa que os dois modelos são equivalentes, este trabalho inicia uma discussão sobre a agregação das técnicas desenvolvidas isoladamente para cada um destes. A aderência dos métodos de análise será verificada sobre uma modelagem do processo de extração de caldo de cana.

Palavras-chave— modelagem de sistema, análise de modelos, redes de Petri, PFS, rede C/A

1 Introdução

O crescimento tecnológico e a aceleração do processo de globalização tem implicado em um maior volume de problemas técnicos a serem solucionados, inclusive na área de projeto sistemas de controle e automação. Devido à diversidade de competências requeridas nestas atividades de projeto, raramente elas são realizadas por um único indivíduo, sendo frequentemente necessária a criação de uma equipe de trabalho de formação diversificada para realizar o projeto com sucesso.

De fato, projetos na área de automação envolvem componentes com tecnologias diferentes, como atuadores, sensores e processamento de dados em nível de hardware e software. Neste sentido, torna-se desejável a definição de uma representação global a fim de permitir um entendimento claro do problema por todos membros da equipe, pois os diagramas, tecnologias e conceitos específicos de cada área podem não ser claros a toda equipe.

Segundo De Negri e Santos (2007), nas últimas décadas é possível observar um considerável empenho de pesquisadores em busca de técnicas e metodologias que culminem em procedimentos adequados para o projeto de sistemas técnicos. Todavia, destacam que apesar dos esforços ainda não há uma metodologia de projeto consolidada para sistemas automáticos.

Durante as atividades de projeto, o uso de modelos tem se tornado uma técnica importante que permite visualizar perspectivas distintas do sistema, possibilitando assim abstrair representações do problema que

considerem somente os aspectos relevantes a cada estágio do desenvolvimento.

Dentre todos os modelos disponíveis, cada um com a sua aplicação específica às diferentes fases de projeto, este trabalho foca especialmente nos modelos que podem ser utilizados na fase de projeto conceitual de sistemas técnicos (Pahl e Beitz, 2005). Com este objetivo, cita-se como exemplo a rede Canal/Agência – rede C/A (De Negri, 1996) (Reisig, 1992), o *Production Flow Schema* – PFS (Miyagi, 1996), a descrição funcional segundo a VDI 2860 (Verein Deutscher Ingenieure, 1990), o SADT/IDEF0 (IDEF0, 2013) e a descrição funcional conforme segundo a escola Alemã (Pahl e Beitz, 2005). Comentários sobre a utilização destes modelos podem ser encontrados em Belan (2007) e De Negri e Santos (2007).

Analisando a origem dos modelos, observa-se que a rede C/A e o PFS podem ser considerados equivalentes, conforme já mencionado por De Negri e Santos (2007), Belan *et al.* (2010), Hasegawa *et al.* (1999) e Miyagi *et al.* (1999). Todavia, apesar destes modelos serem utilizados para a modelagem das mesmas perspectivas do problema, eles são empregados normalmente em aplicações distintas e apresentam resultados de pesquisas que não são aproveitados conjuntamente.

Com o intuito de maximizar as vantagens que esta equivalência pode propiciar, este trabalho tem como objetivo iniciar uma discussão que permita integrar as técnicas e ferramentas desenvolvidas para os modelos PFS e rede C/A.

Neste sentido, este artigo apresenta uma aplicação dos métodos de análise de coerência estrutural e de fluxo de recursos, desenvolvidos inicialmente para a rede C/A (Belan, 2005; Belan *et al.*, 2010), a uma representação em PFS de um processo de extração de cana de açúcar (Villani *et al.*, 2007).

Considerando que ambos modelos são aplicados com sucesso em suas devidas áreas, não é objetivo deste trabalho esgotar a discussão comparativa nem avaliar a eficiência dos modelos. Todavia, alguns aspectos serão apresentados a fim de permitir a análise e avaliar a equivalência.

Este trabalho está estruturado de forma que na segunda seção será apresentado o modelo PFS, comparando-o à rede C/A. Na sequência será apresentado o fluxo dos métodos de análise. Na quarta seção será apresentado o estudo de caso e por fim os resultados e conclusões.

2 Production Flow Schema – PFS

Originalmente, tanto o PFS (Miyagi, 1996) quanto a rede C/A (De Negri, 1996) são interpretações da rede de Petri proposta inicialmente por Carl Adam Petri in 1962 (Murata, 1989). Mais especificamente, os modelos foram desenvolvidos a partir da rede tipo canal agência apresentada por Reisig (1992) e (Heuser, 1990). Ambos são aplicados especialmente em atividades de projeto e foram concebidos para uma modelagem conceitual, apresentando uma perspectiva funcional e estrutural do sistema.

Todavia, mesmo mantendo o objetivo, com o tempo as pesquisas e aplicações sobre os modelos tomaram direções alternativas e complementares, o que é justificado pelas características dos grupos que mais os utilizam. Atualmente, a rede C/A é estudada pelo laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos – Laship da Universidade Federal de Santa Catarina¹, sendo utilizada majoritariamente para projeto e análise de sistemas hidráulicos e pneumáticos, com características automáticas. Por sua vez, o PFS é utilizado pelos pesquisadores do departamento de engenharia mecatrônica e de sistemas mecânicos² da Universidade de São Paulo, sendo aplicado amplamente para o projeto do sistema de controle de sistemas produtivos e de manufatura.

Particularmente para este trabalho, volta-se o foco para o modelo PFS, o qual é um modelo diagramático aplicado para a representação funcional e estrutural de um sistema produtivo, baseado nos fluxos de materiais e informações (Miyagi *et al.*, 1999).

Os elementos do PFS são representados na Figura 1. Os elementos ativos correspondem às atividades e os elementos passivos às distribuições (interatividades). Estes são conectados por meio de arcos orientados onde, igualmente a outras redes de Petri, elementos do mesmo tipo não podem ser conectados direta-

mente uns aos outros. Cada elemento recebe inscrições indicando sua interpretação específica para o modelo elaborado. (Miyagi, 1996).

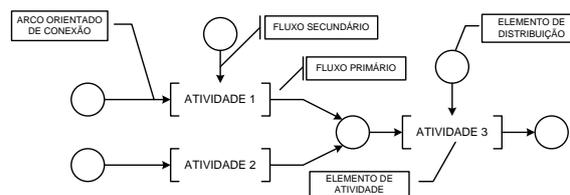


Figura 1. Elementos do PFS (Miyagi *et al.*, 1999).

Conforme Miyagi (1996), a execução das atividades envolve a realização de operações como processamento e montagem e podem envolver matéria-prima, ferramentas, equipamentos, ordens de execução e informações de controle.

Segundo Hasegawa *et al.* (1999) um importante conceito modelado pelo PFS é o fluxo de itens, podendo ser representado pelo processo de alocação e localização das quantidades de itens. Neste sentido, considerando o projeto de sistemas de manufatura, destaca que o PFS representa uma perspectiva estrutural do sistema, pois apresenta explicitamente a interação entre as atividades.

A Figura 2 apresenta uma rede C/A semelhante ao PFS exposto na Figura 1 para permitir uma avaliação comparativa sobre algumas diferenças gráficas entre os modelos.

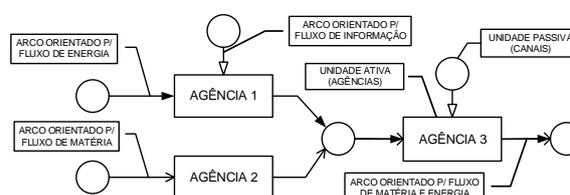


Figura 2. Elementos da rede C/A.

Neste sentido, comparando-se os modelos é possível evidenciar as seguintes diferenças:

- Os distribuidores do PFS se equivalem aos canais da rede C/A, inclusive na simbologia;
- As atividades do PFS se equivalem às agências da rede C/A, mas neste último as agências são representadas por retângulos e não apresentam distinção entre fluxo primário e secundário;
- Com relação às setas dos arcos orientados, na rede C/A elas são diferentes para matéria, informação e energia;
- Apesar de não configurar regra, na questão de distribuição dos elementos é possível observar que no PFS o fluxo principal é normalmente modelado da esquerda para direita, enquanto que na rede C/A esta orientação nem sempre é seguida.

Um ponto distinto entre os modelos, que não é referente ao modelo gráfico e precisa ser esclarecido, consiste no uso do termo “*RECURSO*”. Na rede C/A

¹ <http://www.laship.ufsc.br/>

² <http://ppgem.poli.usp.br/>

o termo é utilizado para diferenciar os elementos que fluem pela rede (ex.: óleo, energia, peça etc.), enquanto que no PFS faz referência a um equipamento que pode ser compartilhado no processo (ex.: máquina A, robô manipulador, buffer etc.). Como o exemplo em PFS utilizado neste artigo não explicita o compartilhamento de equipamentos (recursos), será empregado neste trabalho a abordagem da rede C/A para o termo, inclusive quando citado em um dos métodos de análise.

3 Métodos de análise

Belan (2007) propôs a formalização matemática da rede C/A e métodos de análise para verificar a coerência do modelo, justificado pelo fato de que quando uma ferramenta formal não está disponível, a confiabilidade do modelo fica altamente dependente dos conhecimentos e atitudes do projetista.

Mesmo que o PFS e a rede C/A sejam modelos utilizados na fase de projeto conceitual onde algumas características do sistema ainda não estão definidas perfeitamente, a existência de métodos sistemáticos de análise permite a correção de erros logo no início do projeto. Destaca-se também que não é incomum modelar sistemas que exijam vários níveis de refinamento ou modelos que contenham vários componentes, o que torna a tarefa de verificação, quando feita visualmente, tão mais difícil quanto maior a complexidade do modelo.

Neste sentido, este trabalho pretende avaliar se os métodos de *análise de coerência estrutural* e de *análise de coerência de fluxo de recursos* (Belan, 2007) (Belan *et al.*, 2010), inicialmente propostos para a rede C/A, podem ser aplicados ao PFS.

Os passos para execução dos procedimentos de análise podem ser descritos como segue:

- **Passo 1: Representação do modelo na forma matricial:** como o PFS é uma interpretação da rede de Petri, também pode ser representada por matrizes de incidência anterior ($Kpre_{n,m}$) e posterior ($Kpost_{n,m}$), sendo “n” igual ao número de distribuidores e “m” ao número de atividades;
- **Passo 2: Análise da coerência estrutural:** aqui, conexões erradas entre os elementos podem ser verificadas, tendo como resultado uma relação dos distribuidores de consumo e de suprimento de recurso. O algoritmo para execução deste passo é apresentado na Figura 3;
- **Passo 3: Análise da coerência de fluxo de recursos:** este método utiliza como entrada a relação dos distribuidores de consumo e suprimento da etapa anterior. Por meio da verificação do caminho seguido por cada recurso, permite avaliar se os recursos fluem pela modelo de forma consistente. O procedimento é realizado conforme o algoritmo apresentado na Figura 4

1. Análise das atividades:
 - 1.1. Para $j = 1, \dots, m$;
 $VLKpre_j = Kpre_{1,j} \vee Kpre_{2,j} \vee \dots \vee Kpre_{n,j}$
 $VLKpost_j = Kpost_{1,j} \vee Kpost_{2,j} \vee \dots \vee Kpost_{n,j}$
 - 1.2. $VLRes = VLKpre - VLKpost$
 - 1.3. Eliminar elementos não nulos de $VLRes$.
2. Análise dos distribuidores:
 - 2.1. Para $i = 1, \dots, n$;
 $VCKpre_i = Kpre_{i,1} \vee Kpre_{i,2} \vee \dots \vee Kpre_{i,m}$
 $VCKpost_i = Kpost_{i,1} \vee Kpost_{i,2} \vee \dots \vee Kpost_{i,m}$
 - 2.2. $VCRes = VCKpre - VCKpost$
 - 2.3. Análise dos elementos não nulos de $VCRes$
3. Gerar relação de distribuidores de consumo e suprimento.

Figura 3. Análise de coerência estrutural.

1. Para cada distribuidor de suprimento:
 - 1.1. Verificar em $Kpre$ quais atividades estão ligadas ao distribuidor;
 - 1.2. Para cada atividade encontrada:
 - 1.2.1. Verificar em $Kpost$ quais distribuidores estão ligados à atividade;
 - 1.2.2. Para cada distribuidor encontrado:
 - 1.2.2.1. Se o distribuidor for de consumo, então o caminho é considerado coerente;
 - 1.2.2.2. Se o distribuidor não for de consumo, repetir tarefas a partir do item 1.1.
2. Avaliar coerência da rede:
 A rede é coerente com relação ao fluxo de recursos se todos os caminhos mapeados na tarefa anterior forem coerentes.

Figura 4. Análise de coerência fluxo de recursos.

4 Estudo de caso

Como exemplo de aplicação do PFS será utilizado neste artigo o modelo de parte do processo da fábrica de cana de açúcar de Cruz Alta, conforme apresentado em Villani *et al.* (2007). Pontualmente, será utilizada a modelagem da etapa de extração do caldo de cana. De acordo com Villani *et al.* (2007), a extração nesta fábrica é obtida por difusão, sendo que o difusor tem uma esteira horizontal que transporta a cana, a qual é pulverizada abundantemente com a solução do interior do difusor e, desta forma, o açúcar é extraído da cana (Figura 5).

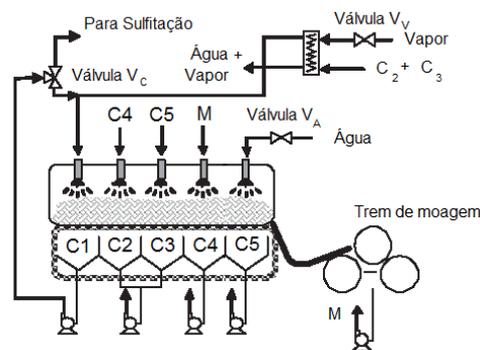


Figura 5. Leiaute do processo (adaptado de Villani *et al.*, 1999, p. 177).

Com o objetivo de possibilitar a apresentação do problema neste artigo, o sistema de extração será simplificado, sendo retirado parte do processo. Com esta

simplificação o processo fica reduzido a cinco estações de extração (C_1 a C_5), ao invés de quatorze, mas mantém as características funcionais do processo.

O PFS exposto na Figura 6 já considera a simplificação mencionada acima e está rearranjado para melhor apresentação visual. Foram acrescentados ao modelo original também a numeração dos distribuidores ($d1$ a $d24$) e das atividades ($at1$ a $at15$), assim como incluída a simbologia de distribuidores à $d7$, $d12$ e $d24$, os quais representam a fronteira dos fluxos secundários com o sistema externo.

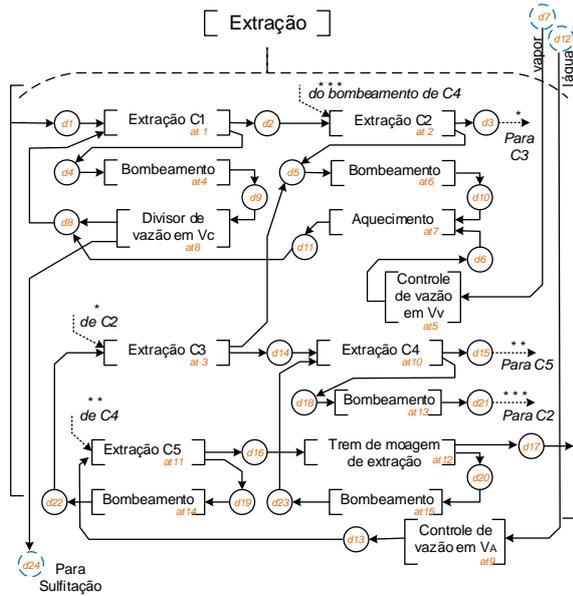


Figura 6. PFS - Refinamento da atividade de extração (adaptado de Villani *et al.*, 1999, pp 177).

A análise é executada segundo os passos abaixo:

- **Passo 1: Representação do modelo na forma matricial:** o PFS da Figura 6 pode ser representado na forma das matrizes apresentadas nas Figura 7 e Figura 8;

Para a representação, cada linha da matriz corresponde a um distribuidor e cada coluna a uma atividade. Os campos da matriz recebem “1” se há uma ligação entre o distribuidor e a atividade e “0” se não existe ligação. Um campo igual a “1” na matriz $Kpre$ (Figura 7) significa que existe um arco orientado ligando o distribuidor à atividade. Por sua vez, um campo igual a “1” na matriz $Kpost$ (Figura 8) indica que um arco orientado liga a atividade ao distribuidor.

- **Passo 2: Análise da coerência estrutural:** Este passo é executado conforme as orientações da Figura 3;

Na Figura 9 é apresentado o resultado parcial do método referente às atividades, sendo verificado que nenhuma atividade pertence fronteira do sistema (vetor $VLRes$ nulo). Em rede C/A, o canal (distribuidor) é entendido como o meio físico com que as agências (atividades) se comunicam com os demais sistemas ou outras agências. Neste caso, como se trata de um refinamento de uma atividade (extração), o vetor de resposta nulo ($VLRes$) indica que somente existem distribuidores ligados a esta atividade maior (simbolizada

na Figura 6 pelos grandes colchetes externos, delimitando a fronteira do diagrama).

	at1	at2	at3	at4	at5	at6	at7	at8	at9	at10	at11	at12	at13	at14	at15
d1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
d7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
d10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
d11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
d13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
d14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
d15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
d16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
d17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
d19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
d20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
d21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
d24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 7. Representação matricial de incidência anterior - $Kpre$.

	at1	at2	at3	at4	at5	at6	at7	at8	at9	at10	at11	at12	at13	at14	at15
d1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
d9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
d12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
d14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
d16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
d17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
d18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
d19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
d20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
d21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
d22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
d23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
d24	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Figura 8. Representação matricial de incidência posterior - $Kpost$.

	at1	at2	at3	at4	at5	at6	at7	at8	at9	at10	at11	at12	at13	at14	at15
$VLKpre$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$VLKpost$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$VLRes$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 9. Análise estrutural das atividades.

Caso não tivessem sido acrescentados ao modelo os distribuidores $d7$ e $d12$ (Figura 6), apareceriam no vetor linha $VLRes$ dois elementos não nulos ($at5$ e $at9$). Segundo o método, esta é uma irregularidade e deve ser corrigida, pois considera-se que uma agência (atividade) apenas realiza operações sobre os recursos,

ou seja, é capaz de transformá-los, mas não de criá-los.

Como solução, neste caso foram acrescentados os distribuidores *d7* e *d12*, indicando que existem meios físicos para entrada dos recursos “vapor” e “água” às atividades *at5* e *at9*, respectivamente. Outra alternativa de solução seria desconsiderar da análise as agências *at5* e *at9* e, neste caso, estas atividades pertenceriam ao ambiente externo do PFS modelado. Consequentemente os elementos *d6* e *d13* assumiriam a representatividade de distribuidores de suprimento de recursos.

Seguindo com o método de análise de coerência estrutural, conforme a Figura 3, as tarefas referentes aos distribuidores são apresentados na Figura 10.

$$\begin{array}{r}
 d1 \\ d2 \\ d3 \\ d4 \\ d5 \\ d6 \\ d7 \\ d8 \\ d9 \\ d10 \\ d11 \\ d12 \\ d13 \\ d14 \\ d15 \\ d16 \\ d17 \\ d18 \\ d19 \\ d20 \\ d21 \\ d22 \\ d23 \\ d24
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0
 \end{bmatrix}
 -
 \begin{bmatrix}
 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1
 \end{bmatrix}
 \begin{array}{l}
 (a) \\ (b) \\ (c)
 \end{array}$$

Figura 10. Análise estrutural dos distribuidores. a) *VCKpre*, b) *VCKpost* e c) *KCRes*.

Para a análise dos elementos não nulos do vetor *VCKRes* (Figura 10), tem-se que os elementos positivos são os distribuidores de suprimento de recurso e os negativos são os distribuidores de consumo. Neste sentido, o método de análise indica que os distribuidores de suprimento são os elementos *d1*, *d7* e *d12* e os distribuidores de consumo são *d11*, *d17* e *d24*.

Tendo por base que o projetista deve conhecer as entradas e saídas do sistema, estes dados de análise devem ser confrontados com a intenção real de projeto. Para o exemplo, observa-se que da relação de distribuidores de suprimento e de consumo obtida pela análise, o distribuidor *d11* não deveria aparecer. Esta incoerência foi consequência do erro de modelagem de um arco orientado ligando dois distribuidores (*d11* a *d8*). Como solução, pode-se considerar o *d8* e o *d11* como o mesmo distribuidor ou acrescentar uma atividade entre os dois distribuidores.

Corrigindo o erro, o método de análise de coerência estrutural resulta na relação de distribuidores de suprimento *d1*, *d7* e *d12*, e de consumo *d17* e *d24*, os quais são utilizados como entrada do próximo passo e representam que neste sistema devem entrar *cana*

(*d1*), vapor (*d7*) e água (*d12*) e sair *bagaço* (*d17*) e *caldo de cana* (*d24*).

- *Passo 3: Análise da coerência de fluxo de recursos*: o procedimento é realizado de forma iterativa, conforme a Figura 4.

O método apresentado na Figura 4 tem como objetivo avaliar se todos caminhos a partir de um distribuidor (canal) de suprimento são capazes de chegar ao menos a um distribuidor (canal) de consumo. Se isso for verdade para todo recurso de todo distribuidor de suprimento, o PFS é considerado coerente com relação ao fluxo de recursos.

Adicionalmente, o método também pode ser utilizado para analisar especificamente os caminhos possíveis que um determinado recurso pode ter a partir de um determinado distribuidor, permitindo avaliar se um determinado recurso passa por todas atividades e distribuidores desejados.

Um sistema especialista, implementado em CLIPs, chamado de “*ExpertRedeCA*”, foi desenvolvido para auxiliar na execução deste passo. Este software, apesar de ter uma interface textual, simplifica a execução desta tarefa.

Como o software foi implementado para redes C/A foi necessário renomear dos distribuidores (*d1* a *d24*) como canais (*c1* a *c24*) e as atividades (*at1* a *at15*) como agências (*a1* a *a15*), para a análise do PFS.

A Figura 11 apresenta a resposta do sistema especialista para a análise dos caminhos a partir de *c7* (*d7* - Figura 6), ainda contendo o erro estrutural da ligação do *d11* ao *d8*. Observa-se que a ferramenta também detectou a incoerência, indicando um caminho aberto a partir de *c11* (*d11*).

```

Caminho: >>> c7 a5 c6 a7 c11 <<<
Estado : >>> aberto <<<

*****
                        ATENÇÃO!!!
                        A rede C/A apresenta ao menos um caminho aberto.

Caminho aberto: >>> c7 a5 c6 a7 c11 <<<

Não existe nenhum caminho ligando o elemento >>> c11 <<<
a um canal de consumo
*****

```

Figura 11. Análise de coerência de fluxo de recursos para o distribuidor de suprimento *d7*.

A Figura 12 mostra o resultado do software para os caminhos a partir de *c1* (*d1*) com o PFS já corrigido (inclusão de uma atividade *at16* entre os distribuidores *d8* e *d11*). É possível verificar que os distribuidores *d6*, *d7*, *d12* e *d13* não aparecem em nenhum caminho, indicando que o recurso oriundo de *d1* (*cana*) não passa por estes elementos.

Sobre o resultado apresentado pelo software na Figura 12, esclarece-se que o fato de alguns caminhos não chegarem explicitamente a um distribuidor de consumo (*c17* ou *c24*) e mesmo assim serem considerados fechados se deve ao fato de que o software verifica quando os caminhos possíveis a partir do elemento final já foram abordados por outros caminhos e seriam assim somente repetições. Esta abordagem evita que o software entre em *loop* indefinido.

A coerência do fluxo de recursos a partir dos distribuidores *d7* e *d12* também foi analisada, concluindo-se que os recursos chegam a um distribuidor de consumo.

```

*****
Caminho: >>> c1 a1 c2 a2 c3 a3 c5 <<<
Estado : >>> fechado <<<

Caminho: >>> c1 a1 c4 a4 c9 a8 c8 a1 <<<
Estado : >>> fechado <<<

Caminho: >>> c1 a1 c4 a4 c9 a8 c24 <<<
Estado : >>> fechado <<<

Caminho: >>> c1 a1 c2 a2 c5 a6 c10 a7 c11 a16 c8 <<<
Estado : >>> fechado <<<

Caminho: >>> c1 a1 c2 a2 c3 a3 c14 a10 c15 a11 c16 a12 c17 <<<
Estado : >>> fechado <<<

Caminho: >>> c1 a1 c2 a2 c3 a3 c14 a10 c18 a13 c21 a2 <<<
Estado : >>> fechado <<<

Caminho: >>> c1 a1 c2 a2 c3 a3 c14 a10 c15 a11 c19 a14 c22 a3 <<<
Estado : >>> fechado <<<

Caminho: >>> c1 a1 c2 a2 c3 a3 c14 a10 c15 a11 c16 a12 c20 a15 c23 a10 <<<
Estado : >>> fechado <<<

*****
* O Processo de geração dos grafos de fluxo de recursos foi *
* realizado com SUCESSO *
* A rede C/A não apresenta nenhum caminho aberto. *
*****

```

Figura 12. Análise de coerência de fluxo de recursos para o distribuidor de suprimento *d11*.

Na modelagem utilizada neste artigo não se considerou a distinção entre os recursos, o que facilitou a apresentação dos métodos, mas reduziu o potencial de análise. Na prática, é indicado que modelo explicita os recursos que fluem pela rede, ou seja, deve-se especificar os recursos que passam pelos arcos orientados. Neste exemplo, uma possibilidade seria a avaliação distinta dos recursos materiais “água”, “vapor”, “bagaço” e “caldo de cana”, os quais ainda poderiam ser avaliados separadamente de outros recursos não modelados como “energia” e “informação”.

Nos casos em que os recursos são tratados de forma diferenciada pode-se dizer as matrizes que representam o modelo assumem um aspecto tridimensional, sendo que, cada nível de profundidade representa a modelagem de um único recurso.

5 Conclusão

Este artigo demonstrou que a aderência dos métodos de análise ao PFS foi satisfatória. De forma que, mesmo os métodos apresentando resultados necessários, mas não suficientes, para garantir a coerência do modelo, conseguem auxiliar o projetista na detecção de erros de modelagem logo nas primeiras fases de projeto.

Também foi possível observar que a rede C/A e o PFS são realmente equivalentes e que com algumas considerações é possível integrar as ferramentas e metodologias de um modelo ao outro.

Conclui-se assim que o principal objetivo do trabalho foi atingido, pois a equivalência dos modelos foi demonstrada e verificou-se que é possível a integração das técnicas de projeto da rede C/A e PFS.

Sugere-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de um exemplo completo, contendo uma análise refinada da estrutura do modelo e do fluxo de recursos, assim como integração das técnicas de geração

de controladores e avaliação da confiabilidade por meio da identificação da configuração operacional de sistemas automáticos.

Referências Bibliográficas

- Belan, H. C. (2007). Formalização da rede de Petri canal/agência para projeto de equipamentos industriais. Dissertação (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Belan, H. C., De Negri, V. J., and Szpak, R. (2010). *Channel/Instance Petri net for structural and functional modeling of industrial equipment*, In: De Negri *et al.*, ABCM Symposium Series in Mechatronics, Vol. 4, Ed. ABCM, Rio de Janeiro, pp. 403-407.
- De Negri, V. J. (1996). Estruturação da modelagem de sistemas automáticos e sua aplicação a um banco de testes para sistemas hidráulicos. Tese (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- De Negri, V. J. and Santos, E. A. P. (2007). Projeto de sistemas de automação da manufatura. In: Aguirre, L. A. *et al.*, Enciclopédia de Automática: Controle e Automação, Vol. 1, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, Chapter 15, pp. 382-417.
- Hasegawa, K., P. E. Miyagi, D. J. Santos Filho, Takahashi, K., Ma L. e Sugisawa M., *On resource arc for Petri net modelling of complex resource sharing system*, J. of Intelligent and Robotic Systems, vol. 26 no.3-4, pp. 423-437, 1999.
- Heuser, C. A. (1990). Modelagem conceitual de sistemas, V EBAI, 150 p
- IDEFO (2013). *Integrated definition methods*. Disponível em: < <http://www.idef.com/> >. Acesso em: maio de 2006.
- Miyagi, P. E. (1996). Controle programável. Fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos. São Paulo: Edgard Blücher. 194 p.
- Miyagi, P. E.; Kagohara M. Y.; Junqueira, F.; Riascos, L. A. M. (1999). Metodologia PFS/MFG para a automação balanceada de sistemas de produção enxuta. 4º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, São Paulo, SP.
- Murata, T. (1989). *Petri nets: properties, analysis and applications*, Proceedings of the IEEE 77(4): 541–580.
- Pahl, G. and Beitz, W. (2005). Projeto na Engenharia. São Paulo: Edgard Blücher.
- Reisig, W., (1992). *A primer in Petri Net design*, Berlin: Springer-Verlag, pp. 120.
- VDI - Verein Deutscher Ingenieure (1990). VDI 2860: *Assembly and handling; handling functions, handling units; Terminology, definitions and symbols*.
- Villani, E.; Miyagi, P. E. e Valette, R. (2006). *Modeling and Analysis of Hybrid Supervisory Systems: A Petri Net Approach*, ISBN-10: 1846286506, Springer, pp. 224.