

Modelagem de um Processo de Especificação de Equipamentos de Telecomunicações Utilizando Redes de Petri

Leticia Naresse Zambon de Oliveira, Carlos Frajuca, Francisco Yastami Nakamoto

Abstract— The continuous technology development of telecommunications components and equipment provides many options to reach client necessities. Consequently, the activities control of productive process is critical to assure product flexibility to client and a market differential for company. Moreover, the quality of project bill of materials for installation of telecommunications equipment is critical to keep costs within limits of forecast project budget. Mistakes on quantities or lack of materials to accomplish equipment installation in field results in delivery delays and project costs increase. This paper aims to present the results of analysis and automation for the process of elaborating bill of materials for mobile telephony equipment.

Index Terms—Petri Nets, PFS (Production Flow Schema), Requirements analysis (design specifications), Telecommunications.

Resumo— O contínuo desenvolvimento tecnológico dos componentes e equipamentos nas telecomunicações fornecem uma gama de opções para o atendimento das necessidades dos clientes. Consequentemente, o controle sobre as atividades do processo produtivo é fundamental para garantir ao cliente a disponibilidade e a flexibilidade de produto e à empresa um diferencial de mercado. A qualidade da lista de materiais para instalação de equipamentos de telecomunicações é fundamental para que se mantenham os custos dentro dos limites previstos no projeto. Um erro de quantitativo e/ou a falta de materiais necessários para a instalação do equipamento em campo resultam também em atraso na entrega da instalação, elevando mais ainda os custos do projeto. O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da aplicação de uma sistemática no processo de elaboração da lista de materiais para equipamentos de telefonia celular.

Palavras chave— Análise de Requisitos, Especificações de projeto, Redes de Petri, PFS (Production Flow Schema), Telecomunicações.

I. INTRODUÇÃO

O mercado de projetos de engenharia na área de telecomunicações é sazonal e tem grandes picos de produção associados a curtos prazos para atendimento das demandas de serviços. Conseqüentemente, a flexibilidade de produção e o controle sobre as atividades do processo produtivo são alguns dos atributos fundamentais para que se possa manter um alto

nível de qualidade dos serviços prestados, sendo inadmissível o retrabalho das atividades envolvidas na cadeia produtiva. Uma das principais atividades para instalação de equipamentos para as redes de telefonia celulares é a Lista de Material (LM). Nela são contemplados todos os itens necessários para que se ocorra à instalação do equipamento de acordo com os requisitos definidos pelo cliente e registrados em contrato comercial. A qualidade da lista, considerando-se a especificação de cada item e na quantidade suficiente com previsão para possíveis imprevistos, influencia efetivamente no tempo de instalação e na qualidade do serviço prestado. O presente estudo foi realizado em uma empresa de telecomunicações em que houve um aumento dos custos de projeto para a instalação de tais equipamentos. Dentro deste contexto, foram identificadas não conformidades no atendimento aos prazos de entrega devido a erros na LM. A partir de um levantamento do histórico dos projetos implantados nos últimos anos pela empresa, constatou-se que grande parte dos erros é de natureza de especificações e/ou nas quantidades necessárias dos componentes requeridos no projeto. Outro aspecto identificado é que cada projetista consulta um conjunto de manuais técnicos e banco de dados individuais, o que dificulta o compartilhamento de informações atualizadas.

Adotando-se uma abordagem estruturada, mediante emprego de uma ferramenta de modelagem, foi possível sistematizar o processo de elaboração da LM que resultou na implementação de uma ferramenta computacional. O presente trabalho tem como objetivo descrever o processo de modelagem e apresentar os resultados preliminares obtidos da etapa de validação da solução.

II. INTRODUÇÃO TEÓRICA

A. Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos

O processo de elaboração da LM possui um conjunto de atividades que são executadas sequencialmente e/ou paralelamente. Isto implica na ocorrência de um evento para iniciar uma determinada atividade e outro evento para finalizar a mesma. Tais sistemas pertencem à classe de Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos (SDED) [1]. Os SDED são sistemas em que a evolução dos estados ocorre de forma assíncrona, com bases na ocorrência de eventos, que causam uma transição instantânea de estados. Sendo possível a ocorrência de conflito e concorrência de eventos. As teorias

Manuscrito recebido em 19 de agosto de 2014.

L. N. Z. De Oliveira (leticia03@ig.com.br), Carlos Frajuca (frajuca@gmail.com) F. Y. Nakamoto (nakamoto@ifsp.edu.br) pertencem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. Rua Pedro Vicente, 625 - Canindé - São Paulo - SP - Brasil - Cep: 01109-010.

aplicadas a SDED são relativamente recente se comparadas ao Sistema de Variáveis Contínuas (SVCs), em que as variáveis de estado evoluem de forma contínua no tempo, em função de fenômenos da natureza, isto é, baseadas em leis invariantes da física [2]. Os SDEDs podem ser modelados utilizando-se Máquinas de Estado [1], Cadeia de Markov [1], Teoria das Filas [1], Redes de Petri [1], [2], [3], [4], entre outros.

B. Redes de Petri (RdP)

A Rede de Petri (RdP) é uma ferramenta gráfica e matemática, desenvolvida por Carl Adam Petri em 1962 [2] para a modelagem de SDEDs. A RdP, como uma ferramenta gráfica, permite uma comunicação visual entre os projetistas. Por outro lado, como ferramenta matemática, é o modelo que representa o comportamento do sistema real por meio de equações algébricas. A RdP é um grafo bipartido, composto de círculos e barras conectados por arcos orientados (fig. 1) que representam os estados que um sistema pode alcançar e os eventos que causam a mudança destes estados. Em uma RdP condição-evento, o círculo, chamado de lugar ou condição, representa um estado que o sistema modelado pode assumir, enquanto a barra, denominada de transição, associa-se os eventos que causam a transição de estados. O último elemento é o *token*, que determina o estado em que se encontra a rede em função da marcação no lugar. Conseqüentemente, o processo de modelagem utilizando RdP consistem em identificar os estados do objeto de controle e os eventos associados às transições que causam a transição entre os estados. Outro aspecto importante da RdP é a capacidade da ferramenta em modelar conflito, concorrência e paralelismo de eventos.

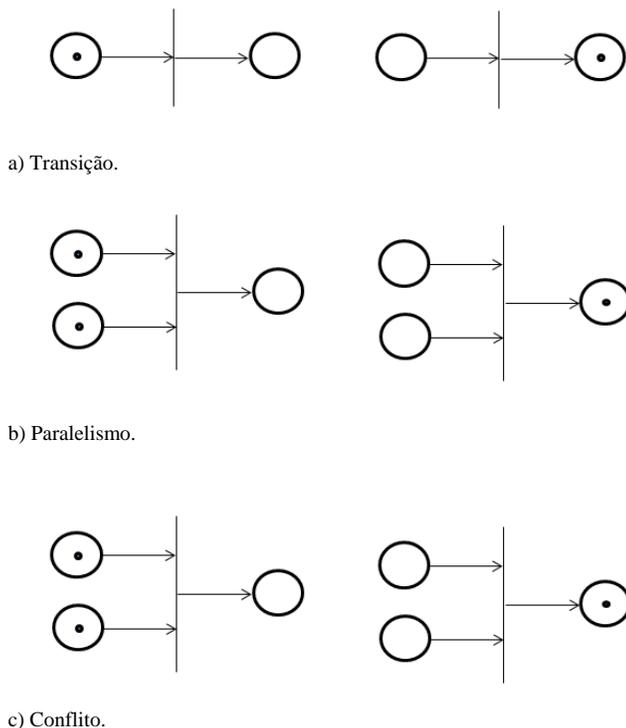


Fig. 1: Marcação na Rede de Petri, a) transição, b) paralelismo e c) conflito.

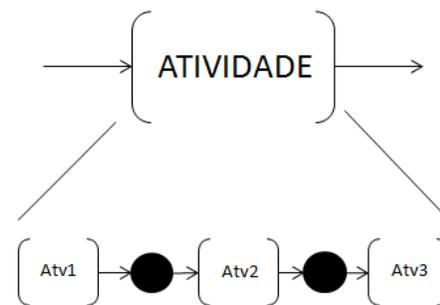
C. Production Flow Schema (PFS) e Sistemática PFS/RdP

A modelagem de um sistema utilizando-se a RdP somente, dependendo da complexidade do objeto modelado, pode gerar uma rede desestruturada e de difícil análise e validação. Isto ocorre devido ao fato da RdP modelar um mesmo sistema do ponto de vista de alto nível e de baixo nível. Isto é, considerando-se um processo como um conjunto de atividades sequenciais e/ou paralelas que resultam em um produto ou uma prestação de serviço [5], seria como modelar o processo de produção do produto e modelar o processo de usinagem de uma das atividades do mesmo processo ao mesmo tempo, na mesma rede. Conseqüentemente, se faz necessário o emprego de uma ferramenta complementar que auxilie a geração de uma RdP estruturada. Neste sentido, há a ferramenta *Production Flow Schema* (PFS), proposto por [4] para modelar o fluxo de operações mediante uma abordagem “*top-down*” com refinamento sucessivo, resultando na modelagem do sequenciamento das atividades de um processo, inclusive a execução simultânea de tais atividades. O PFS possui três elementos:

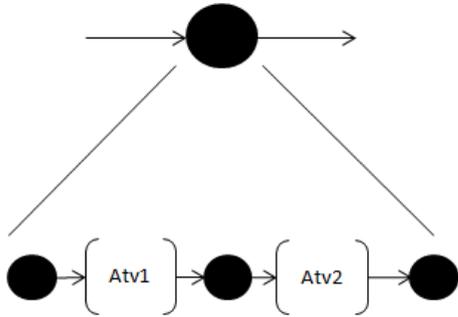
- Elemento ativo ou atividade: são elementos que realizam a ação;
- Elemento passivo ou distribuidor: são elementos que apresentam o estado em que se encontra o objeto que sofre a ação;
- Arcos orientados: são elementos que associam a atividade ao distribuidor e vice-versa.

A estrutura do modelo do PFS dos elementos-atividade tem como função representar um subprocesso, caracterizado por uma seqüência de atividades pertencente a um processo maior, não sendo guiada por nenhuma teoria ou esquema, do mesmo modo que a escolha de procedimentos e funções em uma linguagem estruturada. Portanto, as atividades podem ser interpretadas como módulos em que há uma entrada e uma saída bem definida, caracterizando a funcionalidade de cada um destes módulos, [6]. Além disso, o PFS permite a modelagem de conflito, concorrência e paralelismo de atividades.

O refinamento sucessivo em PFS é realizado a partir de uma macro atividade subdividindo-se em subatividades inerentes a mesma ou a partir de um distribuidor detalhando-o em uma seqüência de subatividades (fig. 2).



a) Atividade PFS.



b) Elemento distribuidor do PFS.

Fig. 2: Elementos da PFS a) e b).

A sistemática PFS/RdP [4] permite a complementação para a elaboração de forma estruturada da RdP. Após o refinamento sucessivo do PFS até o nível de abstração desejado, os elementos-atividade podem ser expandidos em duas transições e um lugar (lugar-atividade) em RdP. Quando é necessária a indicação do início e da conclusão de uma atividade, é diferenciada a transição de entrada (como a transição de início) da transição de saída (como a transição final). Na fig. 3, m e n são, respectivamente, os números de entradas e saídas simultâneas de um elemento. Para o elemento-distribuidor pode ser também expandido em um lugar (lugar-distribuidor) com transições à entrada e à saída, como indicado na fig. 4.

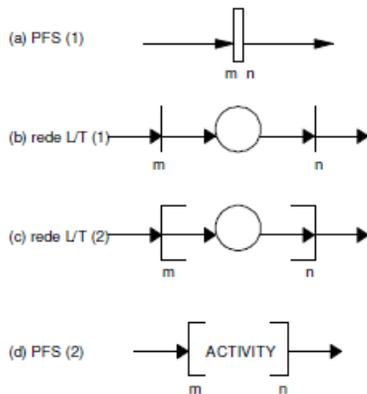


Fig. 3: Elemento atividade em RdP [5].

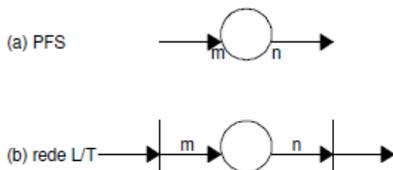


Fig. 4: Elemento distribuidor em RdP [5].

III. MODELAGEM DO SISTEMA DE EXECUÇÃO DA LISTA DE MATERIAIS

O cliente pré-determina os locais específicos (endereços) em que o equipamento de telecomunicações será instalado. Esta localização é denominado de *site*. Para efetivar a instalação, são necessários materiais que envolvem o próprio equipamento (*hardware*), materiais para instalação do sistema irradiante, composto pelos cabos que interligam as antenas e o equipamento, pequenas infraestruturas, tais como fixação do equipamento, alimentação, alarmes, sincronismo com a rede existente, aterramento, acabamentos e identificação dos cabos. A partir da apresentação das necessidades do cliente, mediante estudo da documentação do projeto apresentado pelo mesmo, verificam-se os requisitos necessários quanto às tecnologias disponíveis e soluções técnicas viáveis para a implantação do projeto.

A partir da definição das especificações do equipamento, componentes e insumos, a proposta de solução é então definida junto ao cliente. A partir da proposta, o projetista elabora a Lista de Materiais (LM) que deve conter as especificações de todos os componentes com os respectivos quantitativos. Esta atividade é uma das mais importantes dentro do escopo recebido pelo fornecedor com relação às atividades de pré-instalação do equipamento, pois as especificações incorretas ocasionam diversos retrabalhos na cadeia produtiva dentro da empresa.

IV. MODELAGEM DA PFS

Primeiramente, o processo de especificação para a elaboração da LM foi modelado de forma macro, considerando-se as principais atividades que devem ser executadas, além da relação de sequenciamento destas atividades. Após esta primeira modelagem, foi realizada uma análise prévia a fim de verificar a possibilidade de possíveis melhorias no processo mediante alterações nas atividades e/ou no sequenciamento, inclusive a possibilidade de agrupar duas ou mais atividades em uma única ou desmembrar uma atividade em duas ou mais para melhorar a eficiência global do processo. Definido o processo macro, aplicou-se o refinamento sucessivo e o detalhamento das atividades do processo. Cabe salientar que neste trabalho as macro-atividades indicadas no PFS apresentam as condições e funções que melhor se aplicam para a solução do equipamento requisitado, ou seja, que resulta em uma LM mais adequada para cada projeto de instalação.

Na fig. 5, é possível visualizar o início da modelagem das atividades macros da PFS para a LM. A primeira macro-atividade “Organizar os requisitos de acordo com PN, QRF e Projeto Executivo” indica que devem ser lidos os respectivos documentos indicados pelo cliente para se determinar a solução tecnológica que será adotada para a instalação do equipamento. Observa-se que cada macro-atividade definida na PFS realiza o “ato de analisar” ou “definir” a solução, ou seja, a ação de analisar e definir os itens necessários para efetivar a instalação do equipamento em campo. Em seguida, é possível observar que a partir do distribuidor há três possibilidades distintas que podem ser seguidas: GSM (*Global System for Mobile Communications*), WCDMA (*Wideband*

CDMA) e híbrido (equipamento que contempla as duas tecnologias citadas). Estes serão os três principais ramos da PFS a serem modelados. Em telecomunicações a tecnologia de transmissão/recepção do sinal (GSM/WCDMA/híbrido) definem várias características internas dos equipamentos, principalmente devido as diferentes frequências de banda. A tecnologia GSM utiliza as frequências de 900 e 1800 MHz, WCDMA utiliza 850 e 2100 MHz e os híbridos são equipamentos projetados para serem utilizados com as duas tecnologias em um mesmo gabinete. E assim sucessivamente, para diversas atividades macros definidas para estas três ramificações.

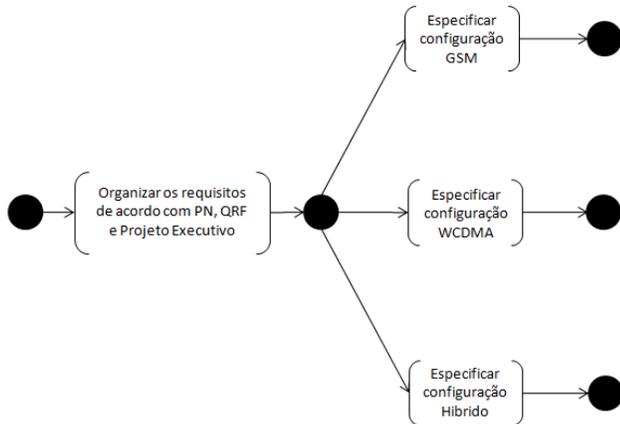


Fig. 5: Início da modelagem em PFS.

V. MODELAGEM EM RDP (REDES DE PETRI)

A modelagem em RdP emprega a sistemática PFS/RdP. Nesta etapa da modelagem, a partir do PFS define-se a relação estado-evento-estado das atividades no PFS para a RdP.

A primeira macro-atividade definida na fig. 5 “Organizar os requisitos de acordo com PN, QRF e Projeto Executivo”, foi refinada sucessivamente em PFS e mapeada para a RdP, conforme apresentado na fig.6 a seguir.

Observa-se que o refinamento sucessivo da atividade apresentada na fig. 6, resulta em três subatividades:

- Analisar documento QRF;
- Analisar documento PN;
- Analisar Projeto Executivo
- Definir a tecnologia.

A ação de analisar nas atividades citadas anteriormente permite a escolha das tecnologias a serem empregadas com critério. Isto implica de forma positiva o processo de elaboração da LM sob dois aspectos. Primeiro quanto à sistemática, uma vez que formaliza os procedimentos internos para a especificação dos componentes, e segundo quanto à utilização de uma mesma base de dados técnicos, permitindo inclusive a rápida atualização da mesma. Além disso, direciona o projetista da LM para quais definições futuras são as mais adequadas com relação à definição anterior, diminuindo a possibilidade de erros de definições por falta de conhecimento específico do projetista.

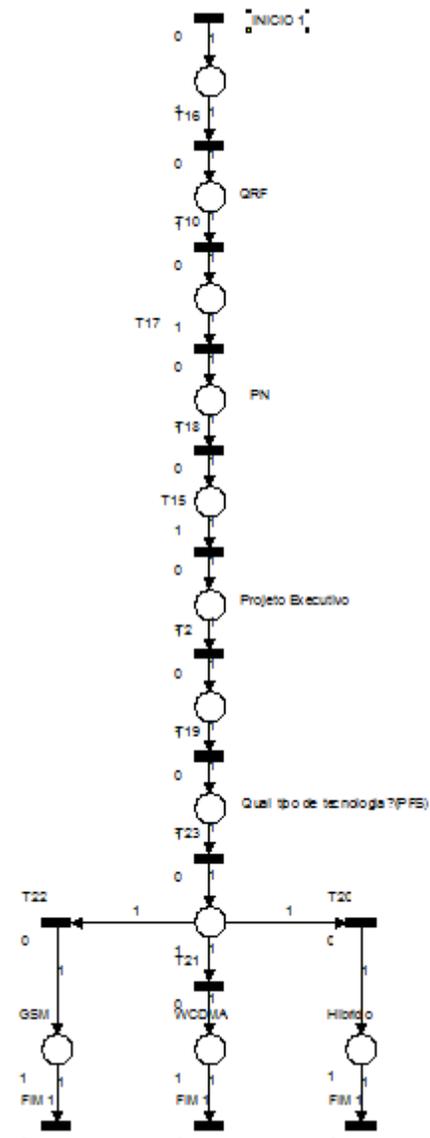


Fig. 6: Verificação da configuração dos documentos QRF/PN/Projeto Executivo em RdP.

VI. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA PARA ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS PARA EQUIPAMENTOS EM TELECOMUNICAÇÕES

Com base na RdP gerada a partir da sistemática PFS/RdP, foi possível o desenvolvimento da ferramenta computacional para auxiliar o projetista na elaboração da LM, no trabalho em questão, optou-se pela planilha eletrônica (MS Excel). Existem duas etapas da ferramenta, a primeira consiste na definição dos materiais que serão utilizados para instalação dos equipamentos, e a segunda etapa consiste na definição dos materiais do sistema irradiante.

O desenvolvimento da ferramenta foi dividido em duas etapas: (i) implementação de um banco de dados e a (ii) implementação da planilha efetivamente incluindo o questionário, tanto para a etapa de especificação dos materiais dos equipamentos tanto quanto para o sistema irradiante. A base de dados unificada permitiu o compartilhamento de uma

mesma fonte para consulta e, conseqüentemente, uma fácil manutenção da mesma. Na aplicação em questão, optou-se por uma tabela em planilha eletrônica, podendo futuramente utilizar-se de um banco de dados com recursos SQL, por exemplo. O *software* efetivamente foi elaborado seguindo-se o formato de questionários que devem ser respondidos pelo projetista. As questões são estabelecidas a partir da RdP gerada, considerando-se as pré-condições, as pós-condições e o respectivo acesso ao conjunto de informações dos componentes e especificações em cada estado. Desta forma, guiado pela execução da RdP e a partir da resposta dada pelo projetista, ao término da execução do questionário, o aplicativo disponibiliza uma LM com todas as especificações do projeto de instalação, os respectivos quantitativos e as ordens de produção dos componentes manufaturados.

VII. RESULTADOS OBTIDOS

O teste e validação da ferramenta computacional foram realizados considerando-se as LM geradas em projetos anteriores, realizados pelos projetistas da empresa. Comparando-se as LMs obtidas pela ferramenta com os registros de projetos realizados anteriormente à proposta do presente projeto, não foram identificados problemas qualitativos e quantitativos nas especificações. Paralelamente, foi realizado o teste e validação da RdP do processo de elaboração das LMs mediante emprego da ferramenta de simulação *HPSim* (disponível em <http://www.winpesim.de/index.html>).

A etapa seguinte foi a obtenção de dados referente ao uso da ferramenta computacional pelos projetistas da empresa. Para a atividade em questão, foram convocados sete projetistas para utilizarem a ferramenta computacional. A partir dos registros de projetos de instalação realizados anteriormente, foram escolhidos de forma aleatória cinco projetos de cada um dos projetistas convocados e os mesmos deveriam executar novamente a elaboração de LM utilizando o método atual e utilizando a ferramenta computacional.

Ao término da atividade, cada projetista respondeu a um questionário composto de quatro questões e as respostas foram registradas e tabuladas, conforme apresentado a seguir:

a) A ferramenta atendeu às expectativas?

A aceitação foi de 85,71% (tabela I). A justificativa apresentada pelo Projetista_4 foi quanto limitação da ferramenta em apresentar maiores possibilidades de configuração e não permitir a inclusão de outros elementos necessários à configuração.

TABELA I. RESULTADO DA QUESTÃO A.

Projetista	Resposta
Projetista_1	Sim
Projetista_2	Sim
Projetista_3	Sim
Projetista_4	Não
Projetista_5	Sim
Projetista_6	Sim
Projetista_7	Sim

Em relação às sugestões de melhoramento apresentadas pelos projetistas, destacam-se duas: (i) a quantidade de perguntas com as mesmas opções podem ser reduzidas consideravelmente melhorando a interface da ferramenta com o usuário e a (ii) possibilidade durante o processo de especificação em voltar para questionamentos anteriores.

b) A ferramenta foi de fácil manuseio?

A aceitação foi de 85,71% (tabela II). A justificativa apresentada pelo Projetista_7 foi o volume excessivo de informações apresentadas em cada pergunta que podem dificultar o entendimento do processo de elaboração da LM para o projetista que não realizou o processo de forma manual.

TABELA II. RESULTADO DA QUESTÃO B.

Projetista	Resposta
Projetista_1	Sim
Projetista_2	Sim
Projetista_3	Sim
Projetista_4	Sim
Projetista_5	Sim
Projetista_6	Sim
Projetista_7	Não

A sugestão apresentada nesta questão foi disponibilizar apenas a quantidade mínima de informações e permitir que, em caso de necessidade do projetista, ele possa acessar a base de dados.

c) A ferramenta facilitou na especificação da LM?

A aceitação foi de 100% (tabela III).

TABELA III. RESULTADO DA QUESTÃO C.

Projetista	Resposta
Projetista_1	Sim
Projetista_2	Sim
Projetista_3	Sim
Projetista_4	Sim
Projetista_5	Sim
Projetista_6	Sim
Projetista_7	Sim

d) Quanto tempo dispensou para elaborar uma LM? E no método atual, quanto tempo depende para elaboração da LM?

Os resultados obtidos pelos projetistas foram organizados e tabulados a fim de realizar uma análise dos resultados obtidos. A tabela IV apresenta os tempos gastos em cada projeto pelos projetistas selecionados.

TABELA IV: RESULTADO DA QUESTÃO D – ELABORAÇÃO DA LM MANUALMENTE (PROCESSO ATUAL).

Elaboração da LM manualmente					
Projetista	LM_1 (min)	LM_2 (min)	LM_3 (min)	LM_4 (min)	LM_5 (min)
Projetista_1	30	30	40	45	35
Projetista_2	30	35	40	50	50
Projetista_3	30	35	45	40	40
Projetista_4	25	25	30	35	30
Projetista_5	20	25	35	20	25
Projetista_6	35	35	40	45	40
Projetista_7	50	50	60	65	40

A tabela V apresenta os tempos gastos em cada projeto pelos projetistas selecionados.

TABELA V. RESULTADO DA QUESTÃO D – ELABORAÇÃO DA LM NA FERRAMENTA.

Elaboração da LM na ferramenta					
Projetista	LM_1 (min)	LM_2 (min)	LM_3 (min)	LM_4 (min)	LM_5 (min)
Projetista_1	6	6	6	6	7
Projetista_2	5	5	6	6	6
Projetista_3	8	7	9	7	9
Projetista_4	11	12	10	11	12
Projetista_5	7	7	9	7	8
Projetista_6	10	11	10	11	13
Projetista_7	10	10	11	10	12

A ferramenta diminui de forma expressiva o tempo de execução da LM. Entretanto, em relação às sugestões de melhoramento apresentadas pelos projetistas foram: (i) Adicionar opções de antenas, suportes de parede e postes, a fim de aumentar o número de soluções possíveis com este equipamento.

VIII. CONCLUSÕES

A partir dos dados colhidos, verificou-se que nas LMs geradas pela ferramenta computacional, em sua totalidade, não houve erros nas especificações, falta de itens e/ou no quantitativo dos componentes. A aceitação da ferramenta entre os projetistas foi muito positiva na linha de produção (Tabela VI).

TABELA VI: ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.

Projetista	Média com a ferramenta (min)	Média manualme nte (min)	Otimização de execução (min)	Otimização de execução (%)
Projetista_1	6,6	36	29,4	81,67
Projetista_2	6	41	35	85,36
Projetista_3	8	38	30	78,95
Projetista_4	11,2	29	17,8	61,38
Projetista_5	7,6	25	17,4	69,6
Projetista_6	11	39	28	71,79
Projetista_7	10,6	53	42,4	80
Total(méd.)	8,71	37,28	28,57	76,64

Além de melhorar o nível de qualidade nas execuções das LM, para acertos de 100% das listas, foi constatada uma redução do tempo de execução da LM de cada projetista em média de 76,64%. Os comentários, em geral feitos pelos

projetistas indicam a necessidade de maior quantidade de itens de material e assim ampliar as soluções possíveis existentes. Cabe destacar que, para o propósito do presente trabalho, em que o objetivo é aplicar uma nova metodologia para o desenvolvimento de soluções em instalação de equipamentos de telecomunicações, foi considerado um número limitado de soluções para a elaboração da LM. Isto se fez necessário para validar o conceito.

Destaca-se ainda, a melhoria da qualidade das LMs geradas e o potencial em relação à redução de custos do projeto de implantação de equipamento de telecomunicações. Do ponto de vista teórico, as ferramentas PFS, RdP e a sistemática PFS/RdP permitiram a modelagem do processo de elaboração de LMs e a implementação de uma ferramenta computacional baseada na plataforma *Windows-Excel*. Como trabalhos futuros, está previsto o desenvolvimento de um maior banco de dados dos itens a serem especificados, com um número maior de soluções em instalações de equipamento de telecomunicações. Um aspecto importante é a possibilidade de utilizar qualquer linguagem de programação comercial para a implementação da RdP do processo de elaboração de LM, podendo ser gerado um *software* dedicado para o propósito.

REFERÊNCIAS

- [1] C.G. Cassandras, S. Laforune. *Introducion to Discrete Event System*, 2nd, Ed Springer Science, 2008.
- [2] T. Murata, *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications*. Proceedings of the IEEE, vol.77, no 4, april 1989.
- [3] J. Cardoso, R. Valette, “Redes de Petri”, Editora da UFSC, 1997.
- [4] P.E. Miyagi. *Controle Programável Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos*. 1nd ed., Ed. Edgard Blücher Ltda, 1996, 4nd reimpressão, 2011.
- [5] F.Y. Nakamoto, “Projeto de Sistemas Modulares de Controle para Sistemas Produtivos”. Tese de Doutorado. Engenharia de Controle e Automação Mecânica. Escola Politecnica – USP, 2008.
- [6] A.G.S. Almeida, “Modelagem de Sistema de controle de ar condicionado baseado em redes de Petri”. Tese de mestrado. Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Escola Politecnica - USP, 2008.
- [7] D. J. S. Filho, et al. “Estruturação da Modelagem de Processos em Sistemas Produtivos”. In:V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Porto Alegre, 2001.

Leticia Naresse Zambon de Oliveira nasceu em São Paulo, SP, em 03 de setembro de 1984. Possui os títulos: Eletricista de Manutenção (SENAI, 2002), Técnico em Eletrônica (CEFET-SP, 2003), Engenheira Eletricista com ênfase em eletrônica (USJT, 2010). Desde 2008 atua na empresa Ericsson Telecomunicações como suporte técnico e coordenação técnica na área de engenharia na elaboração de documentação para instalação e especificação de materiais. Tem interesse nas áreas de telecomunicações, modelagem de processos e otimização de processos através da automação.

Carlos Frajuca. Possui curso técnico em Mecânica pela Escola Federal de São Paulo (1982), bacharelado em Física pela Universidade de São Paulo (1987), Licenciatura em Mecânica pela Universidade Federal de São Carlos (1986), mestrado em Física pela Universidade de São Paulo (1992), doutorado em Física pela Universidade de São Paulo (1996) com bolsa modalidade "Sandwich" na Universidade Estadual da Louisiana e pós-doutorado na Universidade da Austrália Ocidental. Atualmente é Professor Titular de ensino profissional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), aonde foi diretor de ensino e diretor de pesquisa e pós-graduação, exercendo a posição de diretor de pós-graduação e recebendo, em 2014, uma bolsa de produtividade do CNPq na área de Engenharia Mecânica, Naval e Oceânica e Aeroespacial. Cedido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília, aonde foi Pró-Reitor de ensino (graduação),

Pró-Reitor de Pesquisa e PósGraduação e Reitor Substituto. Parecerista da revista *Classical and Quantum Gravity* e *Journal of Physics: conference series*. Membro do Corpo Editorial da Revista *Sinergia* (CEFETSP) e *Journal of Gravity*. Tem experiência na área de Ensino Profissional e na área de Física, com ênfase em Instrumentação, atuando principalmente nos seguintes temas: transdutores paramétricos, detetores de ondas gravitacionais e educação profissional e tecnológica. Também é avaliador institucional pelo INEP/MEC, instituição responsável pela avaliação de instituições de educação superior. Professor do curso de mestrado profissional em automação e controle de procesos e do curso de mestrado acadêmico em engenharia mecânica do IFSP.

Francisco Yastami Nakamoto. Bacharel em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie em 1999, Especialista em Automação e Informática Industrial pelo Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) em 2001, Mestre em Engenharia Mecânica pela EPUSP em 2002 e Doutor em Engenharia Mecânica pela EPUSP em 2008. Desde 2004 atua como docente do Centro Universitário Fundação Santo André. Desde 2010 atua como docente e pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, desenvolvendo pesquisas na área de modelagem e controle de sistemas produtivos flexíveis e sistemas dinâmicos a eventos discretos. É membro da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas desde 2007, membro da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência desde 2009 e membro ISA - *International Society of Automation* desde 2013.