

IFSP – INSTITUTO FEDERAL DE SÃO PAULO
Mestrado Profissional em Automação e Controle de
Processos

Letícia Naresse Zambon de Oliveira

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

*Dissertação apresentada ao
Instituto Federal de São
Paulo, como requisito para
obtenção do Título de Mestre
em Engenharia.*

*Orientador: Profº Dr.
Francisco Yastami Nakamoto
Co-orientador: Profº Dr. Carlos
Frajuca.*

São Paulo
2014

O48m Oliveira, Letícia Naresse Zambon de.

Modelagem de um processo de especificação de equipamentos de telecomunicações utilizando Redes de Petri / Letícia Naresse Zambon de Oliveira. São Paulo: [s.n.], 2014.
119 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Yastami Nakamoto.

Dissertação (Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2014.

1. Telecomunicação 2. Análise de requisitos (especificações de projeto) Redes de Petri 3. PFS (Production Flow Schema)
I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. II. Título

CDU 681.0



ATA DE EXAME DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Programa: **Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos**

Nome do(a) Aluno(a) : Leticia Naresse Zambon de Oliveira

Nome do Orientador: Prof. Dr. Francisco Yastami Nakamoto

Nome do Co-orientador:

Título do Trabalho: "Modelagem de processo de especificação de equipamentos de telecomunicações utilizando Redes de Petri"

Abaixo o resultado de cada participante da Banca Examinadora

Nome completo dos Participantes Titulares da Banca	Sigla da Instituição	Aprovado / Não Aprovado
Prof. Dr. Francisco Yastami Nakamoto – Orientador	IFSP – SPO	Aprovada
Prof. Dr. Eduardo Guy Perpétuo Bock – Membro Interno	IFSP – SPO	Aprovada
Prof. Dr. Laercio Alves Nogueira – Membro Externo	MACKENZIE	Aprovada
Nome completo dos Participantes Suplentes da Banca	Sigla da Instituição	Aprovado / Não Aprovado
Prof. Dr. André César Martins Cavalheiro – Membro Externo	FSA	
Prof. Dr. Carlos Frajuca – Membro Interno	IFSP - SPO	

Considerando-o: APROVADO
 NÃO APROVADO

Assinaturas

Presidente da Banca

Membro Interno

Membro Externo

São Paulo, 02 de OUTUBRO de 2014

Observações:

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu marido Carlos Eduardo Neri de Oliveira, pelo seu apoio, suporte, paciência e por nunca ter descreditado na minha capacidade e me apoiar até o final. Assim, ajudando-me a realizar mais um sonho.

Resumo

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. Consequentemente, necessita-se de produtividade elevada e 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 materiais (LM) para instalação, que contempla todos os itens necessários para que se possa instalar o equipamento que é solicitado pelo cliente via contrato comercial. A qualidade da lista, considerando-se a especificação de cada item e a quantidade suficiente com previsão para possíveis imprevistos, influencia efetivamente o tempo de instalação e a qualidade do serviço prestado. Neste contexto, foram identificadas não conformidades no atendimento aos prazos de entrega devido a erros nas especificações, nas quantidades necessárias dos componentes requeridos no projeto ou devido a ambos os motivos. Através da experiência em projetos e entrevistas com os projetistas, foi possível verificar que seria de grande auxílio uma ferramenta que automatiza-se o processo de especificação de materiais, hoje realizadas manualmente, através de consultas de manuais e banco de dados individuais de cada projetista. Com estas informações, foi possível elaborar um banco de dados único, e assim com a modelagem através do *Production Flow Schema* (PFS) e o refinamento sucessivo, com as Redes de *Petri* (RdP), das possíveis soluções encontradas para cada local de instalação, desenvolveu-se uma ferramenta em planilha eletrônica (*Microsoft Excel*, 2010) automatizando esta tarefa. Os resultados foram positivos, pois além de alcançar o objetivo de padronização e melhoria da qualidade nas LM, houve uma diminuição de tempo de execução médio de 76,64%, e sem custos adicionais para a área, pois não foi necessário a utilização de software diferente dos já utilizados pela empresa, portanto sem aquisição de novas licenças.

Palavras Chaves: Telecommunication. Análise de requisitos (Especificações de projeto) Redes de Petri. PFS (*Production Flow Schema*).

Abstract

Telecommunications engineering projects services market is seasonal and has great demand peaks joined to short delivery times for requested services. Consequently, a service provider needs to deliver high productivity and quality while rework during productive chain is unacceptable. Elaboration of Bill of Materials (LM) for site installation is one activity of major importance for Mobile Phone Networks installation, since it specifies all necessary items required to install equipments purchased by clients through commercial contracts. Bill of Materials quality, considered as the right specification of items and enough quantity for some unexpected events, effectively affects equipment installation delivery time and overall service quality. In this context, many delivery time non-conformities were identified and associated to Bill of Material wrong specifications of items or wrong quantities or both. Through author's projects experience and interviews with other experienced employees, it was possible to verify that creating a tool to automatize the process of items specification and quantities selection would be a great aid, since those activities are accomplish nowadays manually using written manuals and employees' individual databases. After collecting different projects data, an unique database was created and then, using Production Flow Schema (PFS) and successive refinement with Petri Nets of possible solutions for site installations, a tool over an electronic worksheet (Microsoft Excel 2010) was developed. Use of this tool presented positive results, since beyond achieving standardization objectives and Bill Of Materials quality improvement, mean execution time was decreased in 76,64%. All those benefits were attained without additional software licenses costs, since the tool was implemented on common office software.

Key Words: Telecommunication. Requirements analysis (design specifications) *Petri Nets*. PFS (*Production Flow Schema*)

Lista de Ilustrações

Figura 2.1: Comparação das representações de um sistema de variáveis contínuas (SVC) e sistema de eventos discretos (SED) (fonte: CASSANDRAS e LAFORTUNA, 2008).	20
Figura 2.2: Marcação na Rede de <i>Petri</i> , a) transição, b) paralelismo e c) conflito. ..	22
Figura 2.3: Uma Rede de <i>Petri</i> marcada (fonte: RAMOS e BARROS, 2001).....	23
Figura 2.4: Rede de <i>Petri</i> com pesos associados aos arcos (RdP generalizada) e marcada, com interpretação (fonte: RAMOS e BARROS, 2001).	24
Figura 2.5: Clássica Rede de <i>Petri</i> representando uma máquina. (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).	27
Figura 2.6: Adicionando as regras das Redes de <i>Petri</i> coloridas. (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).	28
Figura 2.7: Adicionando as regras das Redes de <i>Petri</i> com tempo. (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).	29
Figura 2.8: Definição de sistema de máquina. (fonte: (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).	30
Figura 2.9: Modelagem de três sistemas de máquinas em paralelo. (fonte: (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).	31
Figura 2.10: Elementos da PFS	32
Figura 2.11: Elemento atividade em RdP (fonte: NAKAMOTO, 2008)	33
Figura 2.12: Elemento distribuidor em RdP (fonte: NAKAMOTO, 2008)	33
Figura 3.1: Exemplo de banco de dados com a codificação dos itens de materiais..	35
Figura 3.2: Exemplo de identificação dos códigos dos itens em blocos.....	35
Figura 4.1: Visão geral do processo de instalação de equipamentos.	39
Figura 4.2: Representação gráfica do FDMA, fonte: POTTER, 2005.....	42
Figura 4.3: Representação gráfica do TDMA, fonte: POTTER, 2005.....	43
Figura 4.4: Representação gráfica do CDMA, fonte: POTTER, 2005.	44
Figura 4.5: Representação do FDMA, TDMA e CDMA no domínio da frequência e tempo, fonte: QUALCOMM, 1992.	45
Figura 4.6: Evolução das tecnologias nas redes de celulares em telecomunicação (fonte: TUDE, 2014).	46
Figura 4.7: Arquitetura básica do AMPS e TDMA (fonte: TUDE, 2014).	47
Figura 4.8: Célula setorizada e omnidirecional (fonte: TUDE, 2014).....	50
Figura 4.9: Área de serviço da MSC (fonte: TUDE, 2014).	50
Figura 4.10: Estrutura básica de um Sistema Celular CDMA, IS-95 (fonte: TUDE, 2014).	52
Figura 4.11: Arquitetura do UMTS (fonte: TUDE, 2014).....	54
Figura 4.12: Indicação das interfaces Uu e Iu (fonte: TUDE, 2014).	55
Figura 4.13: Representação dos canais da interface rádio UTRAN (fonte: TUDE, 2014).	56
Figura 4.14: Representação na RBS, <i>Radio Base Station</i> (fonte: consulta a <i>extranet</i> da empresa, acesso em 2013).	59
Figura 4.15: Representação das 6201, equipamento <i>Indoor</i> (fonte: consulta a <i>extranet</i> da empresa, acesso em 2013).	60
Figura 4.16: Representação da 6102 fechada, equipamento <i>Outdoor</i> (fonte: vistoria realizada em Campinas, SP em 2013).	61

Figura 4.17: Representação da 6102 aberta, equipamento <i>Outdoor</i> (fonte: vistoria realizada em Campinas-SP em 2013).....	62
Figura 4.18: Gabinete de serviço (Eltek), utilizado para ambientes internos ou externos, (fonte: consulta a <i>extranet</i> da empresa fornecedora, acesso em 2013)....	62
Figura 4.19: Gabinete de poste, utilizado para ambientes externos (fonte: vistoria realizada em Rio de Janeiro, RJ, em 2013).	64
Figura 4.20: Representação da 6601 com as unidades de rádio a mostra (RU's) conectando na antena (fonte: consulta a <i>extranet</i> da empresa, acesso em 2013). ..	65
Figura 4.21: As partes destacadas são os sistemas irradiantes (fonte: <i>Workshop Engenharia</i> , 2011).....	66
Figura 4.22: Representação de uma torre (fonte: <i>Workshop Engenharia</i> , 2011).....	67
Figura 4.23: Representação de um poste (fonte: <i>Workshop Engenharia</i> , 2011).....	67
Figura 4.24: Exemplo de instalação em <i>site</i> RT (fonte: vistoria realizada em São Paulo – SP, 2013).	68
Figura 4.25: Processo de execução de LM – PFS, início.....	69
Figura 4.26: Continuação da PFS – GSM – <i>Macro_Parte 1</i>	72
Figura 4.27: Continuação da PFS – GSM – <i>Macro_Parte2</i>	73
Figura 4.28: Continuação da PFS – GSM – <i>Macro_Parte3</i>	74
Figura 4.29: Continuação da PFS – GSM – <i>MainRemote</i>	75
Figura 4.30: Continuação da PFS – WCDMA – <i>Macro_Parte 1</i>	76
Figura 4.31: Continuação da PFS – WCDMA – <i>Macro_Parte2</i>	76
Figura 4.32: Continuação da PFS – WCDMA – <i>Macro_Parte3</i>	77
Figura 4.33: Continuação da PFS – WCDMA – <i>MainRemote_Parte 1</i>	78
Figura 4.34: Continuação da PFS – WCDMA – <i>MainRemote_Parte 2</i>	79
Figura 4.35: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 1.....	80
Figura 4.36: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 2.....	80
Figura 4.37: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 3.....	81
Figura 4.38: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 4.....	81
Figura 4.39: Detalhe da atividade na PFS “Ler PN, QRF e Projeto Executivo”.....	82
Figura 4.40: Verificação da configuração dos documentos QRF/PN/Projeto Executivo.....	83
Figura 4.41: Verificação da configuração no documentos QRF/PN (simulação no <i>HPSim Application, version 1.0.0.2, 2003, Company Henryk Anschuetz</i>).....	85
Figura 4.42: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 1.....	87
Figura 4.43: Comparação entre PFS x RdP, parte 1.....	87
Figura 4.44: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 2.....	88
Figura 4.45: Comparação entre PFS x RdP, parte 2.....	89
Figura 4.46: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 3.....	89
Figura 4.47: Comparação entre PFS x RdP, parte 3.....	89
Figura 4.48: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 4.....	90
Figura 4.49: Comparação entre PFS x RdP, parte 4.....	90
Figura 4.50: Comparação entre PFS x RdP, parte 5.....	91
Figura 4.51: Comparação entre PFS x RdP, parte 6.....	92
Figura 5.1: Banco de dados da ferramenta de execução de LM.....	94
Figura 5.2: Itens e quantitativos da ferramenta de execução de LM.....	94
Figura 5.3: Demonstração do Formulário de respostas e tecla executar.....	95
Figura 5.4: Exemplo da janela dos questionamentos.....	96
Figura 5.5: Exemplo de LM na ferramenta.....	96
Figura 6.1: Principais erros na especificação de materiais.....	97

Figura 6.2: : Indices por semana de acertos das listas de materiais executadas dentro da semana.	98
Figura 6.3: Indices da semana 08/2012.	98
Figura 6.4: Indices da semana 16/2012.	99
Figura 6.5: Indices da semana 20/2012.	99

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resultado da questão 1.....	100
Tabela 2: Resultado da questão 2.....	101
Tabela 3: Resultado da questão 3.....	101
Tabela 4: Resultado da questão 4 – Elaboração da LM na ferramenta.	102
Tabela 5: Resultado da questão 4 – Elaboração da LM manualmente (processo atual).	102
Tabela 6: Análise dos resultados obtidos.....	103

Lista de Siglas e Abreviaturas

RdP	Redes de <i>Petri</i>
PFS	<i>Production Flow Schema</i>
SED	Sistemas de Eventos Discretos
SVC	Sistemas de Variáveis Contínuas
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
IS-95	Interim Standard 95
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
WCDMA	<i>Wideband CDMA</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
RBS	<i>Radio Base Station</i>
AC	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
RU	Unidades de rádio
Placa SIU	Placa que transforma transmissão de cabo coaxial para fibra óptica
GT	<i>Greenfield</i> (instalação em locais abertos)
RT	<i>RoofTop</i> (instalação sobre prédios)
TRM	Transmissão
QRF	Documento elaborado para dimensionar a cobertura de cada equipamento a ser instalado
BBC	Banco de baterias para equipamentos <i>Macro</i>
DU	<i>Digital Unit</i>
SINCR DU-DU (GSM)	Sincronismo entre as DUs dos

	equipamentos GSM
MU	<i>Main Unit</i>
RRU	<i>Radio Remote Unit</i>
RRUW	<i>Radio Remote Unit for WCDMA</i>
PN	Plano Nominal
SAP	software de Gestão Empresarial criado por uma empresa alemã que tem o mesmo nome SAP AG (SAP associação anônima). O significado da sigla é uma abreviação de Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung, no idioma alemão, sendo a tradução em português: Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados.
CORE	Equipamentos de processamento dos dados nas redes de celulares que possuem nível maior de inteligência operacional do que as RBS.
LM	Lista de material
1XRTT	<i>1x radio transmission technology</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
CDMA EVDO	Padrão de terceira geração para sistemas celulares (3G) que serve de evolução ao padrão CDMA baseado na IS-95. O EV significa evolution. E o CDMA 1xEV-DO (Data Only) é o primeiro passo desta evolução com uma portadora de 1,25 MHz dedicada apenas para dados.
ITU	<i>International telecommunication Union</i>
TACS	<i>Total Access Communication System</i>
MS	<i>Mobile Station</i>

ERB	Estação Rádio Base
CCC	Central de Comutação de Controle
HLR	<i>Home Location Register</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> ou Múltiplo Acesso por divisão de freqüência
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
LA	<i>Location Area</i>
MSC	<i>Mobile Switch Center</i>
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
EDGE	<i>Enhanced Datarates for Global Evolution</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
IMT - 2000	<i>International Mobile Telecommunications-2000</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Rádio Access Network</i>
CN	<i>Core Network</i>
RNS	<i>Radio Network Subsystem</i>
RNC	<i>Radio Network controller</i>
Uu	Interface entre UE e UTRAN
Iu	Interface entre UTRAN e CN
Iur	Interface entre dois RNC
DS-CDMA	<i>Direct-Sequence Code Division Multiple Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
TRX	<i>Transceiver</i>
RET	<i>Radio Remote Unit</i>

Sumário

1.	Introdução	14
1.1.	Motivações	14
1.2.	Justificativa	14
1.3.	Objetivo	15
1.4.	Organização da Dissertação	16
2.	Revisão Bibliográfica	18
2.1.	Conceitos básicos para modelagem de sistemas.....	18
2.2.	Sistemas de Variáveis Contínuas (SVC) e Definições de Sistemas de Eventos Discretos (SED)	19
2.3.	Redes de <i>Petri</i> – Definição e Aplicação	21
2.4.	Propriedades das RdP	24
2.5.	Derivações das RdP.....	26
2.5.1.	Redes de <i>Petri</i> Coloridas	26
2.5.2.	Redes de <i>Petri</i> temporais (<i>Timed Petri Net</i>).....	28
2.5.3.	Redes de <i>Petri</i> hierárquica.....	29
2.6.	Introdução teórica do <i>Production Flow Schema</i> (PFS).....	31
3.	Metodologia	34
4.	Modelagem do sistema de execução da lista de materiais.....	37
4.1.	Processo de pré - instalação de equipamento de Telecomunicações..	38
4.2.	Introdução da Modulação Digital e as técnicas para múltiplo acesso.....	40
4.3.	Evolução das tecnologias da rede de celulares.	45
4.4.	Definições gerais das soluções dos equipamentos	57
4.5.	Modelagem da PFS.....	69
4.6.	Modelos em RdP (Redes de <i>Petri</i>).....	82
5.	Desenvolvimento da ferramenta para especificação de materiais para equipamentos em Telecomunicações	93
6.	Considerações finais.....	97
6.1.	Histórico de falhas	97
6.2.	Resultados Obtidos	100
6.3.	Análise comparativa	104
6.4.	Conclusão e trabalhos futuros	104
	Bibliografia.....	107
	Apêndice A: GSM_varias_MHz_Macro.....	111
	Apêndice B: GSM_varias_MHz_MainRemote	112
	Apêndice C: WCDMA_varias_MHz_Macro.....	113
	Apêndice D: WCDMA_varias_MHz_MainRemote	114
	Apêndice E: Híbrido_varias_MHz_Macro	115
	Apêndice F: Sistema Irradiante_Parte1	116
	Apêndice F: Sistema Irradiante_Parte 2	117
	Apêndice F: Sistema Irradiante_Parte 3	118
	Apêndice G: Infra estrutura	119

1. Introdução

1.1. Motivações

Os prestadores de serviços de Telecomunicações necessitam ser mais eficientes e eficazes para garantir competitividade no mercado, oferecendo custo baixo, mantendo a qualidade do serviço prestado. Isso implica na melhoria contínua dos processos para se alcançar a qualidade e redução de custos de produção necessários para atender às demandas dos clientes.

Neste sentido, verificou-se a possibilidade de melhoria do processo de fornecimento de equipamentos de Telecomunicações para expansão das redes de celulares, especificamente da atividade de elaboração da lista de materiais (LM) para instalação de equipamentos.

1.2. Justificativa

O processo de instalação de um equipamento em Telecomunicações é subdividido nas seguintes etapas:

- a) Contrato comercial entre cliente e prestador de serviço;
- b) Envio pelo cliente dos documentos técnicos com os endereços dos locais que haverá implantação ou expansão dos equipamentos;
- c) Análise da documentação pelo prestador de serviço;
- d) Definição das soluções para cada caso;
- e) Elaboração da LM (lista de material);
- f) Envio das necessidades dos itens para a fábrica, em que a fábrica irá determinar a data de entrega da LM, em cada endereço determinado pelo cliente;
- g) Definição das datas de entrega junto ao cliente, com a instalação e integração do equipamento para funcionamento com tráfego de dados na rede do cliente.

A partir da análise deste cenário, verificou-se que um erro na especificação ou quantitativo dos componentes, gera um grande volume de retrabalho em todas as instâncias da empresa, elevando-se os custos de produção. Conseqüentemente, o

não cumprimento dos prazos de entrega previamente acordada junto ao cliente podendo gerar mais custos pelo não cumprimento do contrato comercial, gerando prejuízos financeiros à empresa e dificuldade em futuras negociações comerciais.

1.3. Objetivo

Atualmente, o processo de elaboração da LM é realizado de forma manual pelo projetista, mediante consultas a banco de dados e os manuais técnicos. A partir da pesquisa em campo realizada no departamento de projetos, verificou-se que a elaboração da LM de um equipamento pelo projetista possui dois graus de dificuldade. O primeiro é quanto à especificação do item e/ou do componente de acordo com as tecnologias envolvidas. O segundo é quanto ao quantitativo de acordo com as especificações do equipamento a ser instalado.

O processo estudado é crítico, pois cabe ao projetista determinar as possíveis propostas de soluções viáveis para instalação de um equipamento em uma localidade.

Dois aspectos são inerentes ao processo em questão para se realizar a modelagem da especificação dos materiais. O primeiro é com relação ao detalhamento dos componentes e insumos necessários para a elaboração de cada LM. O segundo aspecto está relacionado à sequência de análise da documentação enviada pelo cliente.

O processo de especificação envolve a execução de uma sequência de ações a partir de uma tomada de decisão do projetista. Pode-se desta forma, abstrair a decisão como resposta a um evento para a realização de uma ação. Esta característica permite classificar o processo de especificação como pertencente à classe de Sistemas a Eventos Discretos (SED). Os SEDs são sistemas em que a evolução dos estados ocorre de forma assíncrona baseado na ocorrência de eventos que causam uma transição instantânea de estados, no caso, as decisões de projeto, e ainda onde podem ocorrer concorrência e conflito de eventos (CASSANDRAS e LAFORTUNA, 2008).

Desta forma, a partir de uma pesquisa bibliográfica na literatura, adotou-se a Redes de *Petri* (RdP) (MURATA, 1989) para auxiliar no processo de modelagem do objeto de estudo em questão, pois é uma ferramenta utilizada para a modelagem de SED. Entretanto, o processo de especificação é um processo produtivo, ou seja,

o processo é um conjunto de atividades (ações) sequenciais e/ou paralelos que resulta em um produto ou uma prestação de serviço. Desta forma, adotou-se uma ferramenta de modelagem de alto nível denominada de Production Flow Schema (PFS) (MIYAGI, 1996).

De acordo com MIYAGI (1996) o PFS é a técnica desenvolvida para sistematizar e facilitar a modelagem por rede, sendo mais eficiente utilizar uma abordagem *top-down*, aplicando-se o conceito de macro-eventos para tratar o sistema de forma hierárquica. Por isso, utilizou-se o PFS para as definições das atividades macro do processo então, mediante a metodologia PFS/RdP (MIYAGI, 1996) é elaborado a rede do processo modelado.

Após a modelagem do processo de tomada de decisão e ação de especificação para a geração da LM para instalação em RdP, a mesma foi implementada em uma planilha eletrônica (*Microsoft Excel*, 2010). A ferramenta possui um banco de dados, elaborado através das entrevistas com os projetistas e consulta aos manuais internos da empresa, caracterizando cada item com seus modelos, subdividindo os itens em blocos, que resultam da modelagem em RdP. A interface da ferramenta computacional com o projetista foi desenvolvida utilizando-se uma linguagem de programação nativa da própria planilha eletrônica, isto é, mediante macros de *Visual Basic*. Ao término da implementação, foram realizados os testes para validação da ferramenta computacional, comparando-se os resultados de projetos realizados anteriormente de forma manual com os resultados obtidos utilizando-se a ferramenta computacional com bases nos mesmos projetos. Ao término, tabularam-se os resultados obtidos que são apresentados nas conclusões do presente trabalho, incluindo-se uma análise crítica dos mesmos.

1.4. Organização da Dissertação

O presente trabalho apresenta-se organizado da seguinte forma:

- O Capítulo 1 apresenta as motivações, o objetivo e as justificativas que nortearam este trabalho;
- O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica utilizada neste trabalho.
- O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada neste trabalho.

- O Capítulo 4 apresenta o processo de modelagem para o desenvolvimento da ferramenta.
- O Capítulo 5 apresenta o desenvolvimento da ferramenta.
- O Capítulo 6 apresenta as considerações finais, a conclusão e os resultados obtidos.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Conceitos básicos para modelagem de sistemas

De acordo com CASSANDRAS e LAFORTUNA (2001), sistema pode ser definido como uma combinação de componentes que agem em conjunto para realizar uma função, que não é possível agir com as suas partes individuais. Duas características são marcantes na definição, primeiro que o sistema é uma combinação de “componentes”, e em segundo o sistema está associado com uma “função” que é determinado a desempenhar. Também vale ressaltar que um sistema não deve ser sempre associado a objetos físicos e às leis naturais, mas também sistemas que podem descrever mecanismos econômicos ou modelar o comportamento humano e a dinâmica da população.

Um sistema é caracterizado de acordo com os seus estados, sendo o estado de um sistema o conjunto mínimo de variáveis, chamadas variáveis de estado, tal que o conhecimento destas variáveis no instante $t=t_0$, conjuntamente com as entradas em $t \geq t_0$, determinam totalmente o comportamento do sistema para qualquer tempo $t \geq t_0$.

Portanto, o estado de um sistema em um instante t qualquer fica determinado univocamente pelo estado no tempo t_0 e as entradas para $t \geq t_0$, sendo independente do estado e das entradas antes de t_0 . (ARAÚJO, 2013).

Para que haja evolução dos estados do sistema, é necessária a ocorrência de eventos. Segundo CASSANDRAS e LAFORTUNE (2001), evento pode ser identificado como uma ação específica gerada interna ou externa ao sistema. Ele pode ser visto como uma ocorrência espontânea ditada pela natureza ou resultado de várias condições que são atendidas causando o evento. Sendo que transição está associada ao evento que leva o sistema de um estado a outro. A condição fundamental para estudar um sistema é a criação de um modelo que apresente o comportamento mais próximo possível do sistema a ser estudado, associando-se as relações de causa/efeito e o comportamento resultante, ou seja, realizar a modelagem de sistemas.

A modelagem de sistemas pode ser definida como a prática de se construir modelos para representar sistemas reais existentes, ou sistemas hipotéticos, e realizar experimentos com estes modelos para: explicar o comportamento dos sistemas; construir teorias ou hipóteses que consideram o comportamento observado; aumentar o desempenho do sistema; projetar novos sistemas com o desempenho desejado; e/ou descrever comportamentos futuros ou o efeito produzido por mudanças no conjunto das entradas (KHOSHNEVIS, 1994; PIDD, 1994; SARGENT, 1994; CENTENO, 1996 apud JUNQUEIRA, 2006).

Assim, é possível definir que processo é a seqüência de eventos e de atividades interdependentes. Por exemplo, um evento inicia a execução de uma atividade, que ao término da execução da atividade gera um novo evento, que por sua vez pode iniciar a execução de uma outra atividade e assim por diante. Em que atividades são as “caixas-pretas” utilizadas para recuperar e esconder a evolução do sistema físico entre dois eventos. Portanto, os eventos correspondem em geral ao início e ao fim de uma atividade. (CARDOSO, J. VALETTE, R, 1997).

2.2. Sistemas de Variáveis Contínuas (SVC) e Definições de Sistemas de Eventos Discretos (SED)

Segundo ALMEIDA (2008) a principal característica dos Sistemas de variáveis Contínuas (SVCs) é que as variáveis de estado evoluem de forma contínua no tempo, em função de fenômenos da natureza, isto é, baseadas em leis físicas. Para a sua modelagem, os sistemas de equações diferenciais são ferramentas comprovadamente eficazes. Nestes sistemas, o objetivo básico do controle normalmente é igualar o valor de uma variável de controle a um valor de referência. Estes sistemas são os mais comumente estudados e existe um número maior de bibliografias deste assunto.

Todavia, os Sistemas a Eventos Discretos (SEDs) representam muitos dos importantes sistemas de engenharia, tais como redes de computadores, sistemas de produção, e sistemas de transporte de produção. As variáveis destes sistemas variam de forma discreta no tempo, sendo que só ocorrem devido a determinadas regras pré-estabelecidas (eventos). Geralmente, estes sistemas possuem características complexas, estocásticas, hierárquicas e não-lineares (Figura 2.1):

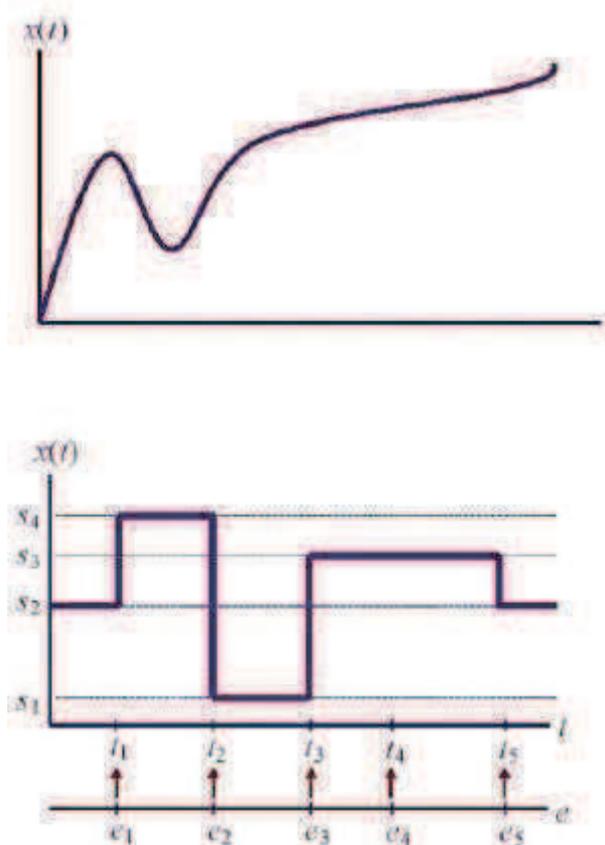


Figura 2.1: Comparação das representações de um sistema de variáveis contínuas (SVC) e sistema de eventos discretos (SED) (fonte: CASSANDRAS e LAFORTUNA, 2008).

Na Figura 2.1 é possível verificar que para os sistemas pertencentes à classe de SVC o estado do sistema varia de forma contínua em função do tempo, porém para o SED é necessário a ocorrência de um evento (e_1, e_2, e_3, e_4 ou e_5) para que ocorra uma transição de estados.

Na área de controle, obteve-se um interesse maior por SEDs no final da década de 70 e início da 80, quando houve a necessidade de desenvolver novos métodos para resolver problemas práticos em diversas áreas tais como: sistemas automatizados de fabricação, controle de estado finito-automata, verificação de modelos lógicos, entre outros pertencentes à classe de SEDs. Isto se deve ao fato da introdução das tecnologias eletrônicas na área industrial, associados às tecnologias de informação.

Os SEDs logo foram reconhecidos como uma nova classe de sistemas dinâmicos que são estruturalmente diferentes dos modelos convencionais, caracterizados por equações diferenciais ordinárias. Ao longo das últimas duas décadas, a proliferação da tecnologia da informática, a necessidade de manufatura

ágil e o rápido crescimento das redes de comunicação, têm influenciado consideravelmente nos estudos de tais sistemas (CASSANDRAS e LAFORTUNA, 2008).

2.3. Redes de *Petri* – Definição e Aplicação

A Rede de *Petri* (RdP) é uma ferramenta para modelagem gráfica e matemática de sistemas, desenvolvida por *Carl Adam Petri* em 1962 (MURATA, 1989). Esta ferramenta está sendo estudada ao longo dos anos e obtendo grande abrangência na sua utilização em diferentes áreas de pesquisa. A RdP permite modelar processos de informação dos sistemas com características concorrentes, assíncronas, distribuídas, paralelas, determinísticas e/ou estocásticas.

Como ferramenta gráfica pode ser usada na comunicação visual, por outro lado como ferramenta matemática, representa um algoritmo que apresenta o comportamento do sistema.

A RdP é uma quintupla $PN = (P, T, F, W, M_0)$, onde: (MURATA, 1989)

$P = \{ p_1, p_2, \dots, p_m \}$ é um conjunto finito de lugares,

$T = \{ t_1, t_2, \dots, t_n \}$ é um conjunto finito de transições,

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é um conjunto de arcos (relação de fluxo),

$W: F \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ é uma função de peso,

$M_0: P \rightarrow \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ é a marcação inicial e,

$P \cap T = \emptyset$ e $P \cup T \neq \emptyset$.

Uma estrutura de PN, $N = (P, T, F, W)$ sem um estado inicial específico é denotada por N. Uma PN com estado inicial determinado é denotada por (N, M_0) .

A ferramenta é representada graficamente a partir de dois nós: o círculo (chamado de **lugar** ou **condição**) e as barras (chamadas de **transições** ou **eventos**), que são conectados pelos **arcos**. As conexões são realizadas de um lugar para uma transição ou vice-versa. O controle da rede é realizado com as marcas (chamada de **tokens**) que se posicionam dentro do círculo das condições. As marcas são os indicadores que sinalizam que a ação do evento deve ocorrer. Isso significa que uma transição estará habilitada se todas as suas condições de entrada possuírem uma marca neles.

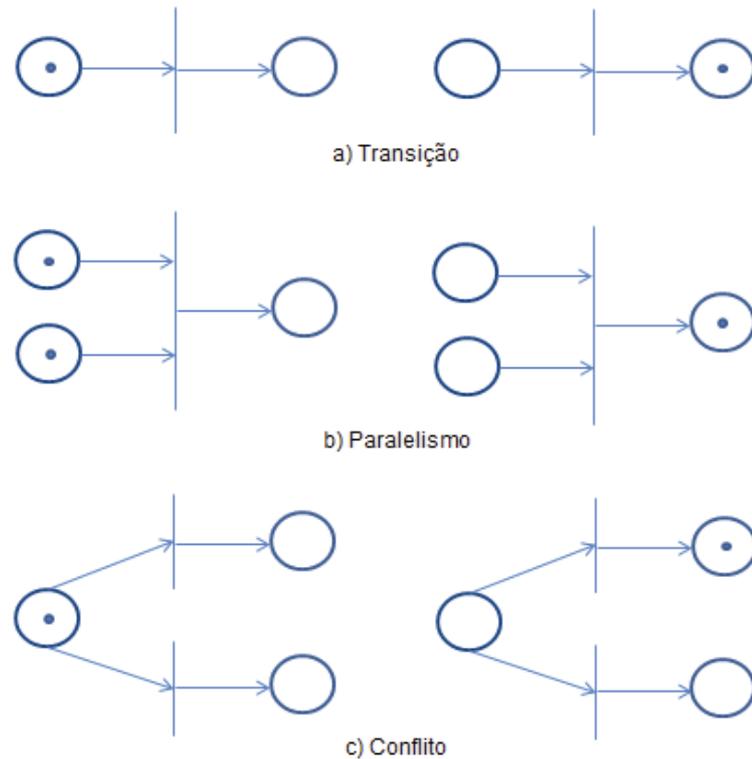


Figura 2.2: Marcação na Rede de *Petri*, a) transição, b) paralelismo e c) conflito.

Na Figura 2.2 é possível observar as diferentes possibilidades de marcações nas RdPs. No primeiro exemplo (a), a marca na condição inicial habilita a ação definida no evento, e em um segundo momento a marca está na próxima condição, após o evento. No segundo exemplo (b), existem duas condições habilitando a ação do evento, isto é, para se realizar o evento, é necessário as duas condições estarem com as marcas, habilitando ações paralelas. No terceiro exemplo (c), temos uma condição habilitando os dois eventos, após o evento, poderão habilitar os dois eventos em condições diferentes, mas não ao mesmo tempo, tornando-se um conflito entre as ações.

As RdPs modelam eventos discretos de sistemas com eventos concorrentes ou paralelos, relacionando o evento à uma específica ação. O fato da existência dessas condições assegura a ocorrência desses eventos, alterando o estado do sistema, permanecendo neste estado até a ocorrência de outro evento que cause uma transição de estado. Outra característica das RdPs é a sua capacidade para modelar um sistema de forma hierarquicamente (PETERSON, 1977).

As ações de uma RdP são potencialmente paralelas e assíncronas, isto é, uma vez satisfeitas as condições para a sua ocorrência, elas podem acontecer em qualquer instante independente umas das outras. Para que uma ação ocorra, todas as suas pré-condições devem estar satisfeitas e todas as suas pós-condições devem comportar o resultado de sua execução (MARRANGHELLO, 2005).

As RdPs podem ter aplicações em diversos tipos de sistemas tais como: sistemas operacionais de computadores, software de computador, hardware de computador, sistemas jurídicos, a teoria da linguagem formal, protocolos de comunicação, sistemas químicos, nas inter-relações de estruturas matemáticas, sistemas de informação, sistemas tolerantes a falhas, controle industrial de processo, sistemas de banco de dados distribuídos, e entre outros.

Um exemplo de aplicação das RdPs é apresentado Figuras 2.3 e 2.4. Segundo REISIG (1992), na modelagem de RdP, necessariamente, é criada uma interpretação da rede. É essa interpretação ou significação que efetua a ligação do modelo abstrado que qualquer RdP representa, com o sistema concreto que se pretende modelar, ou seja, uma possível interpretação da rede da Figura 2.3, é a que se apresenta na Figura 2.4 onde se apresenta a modelagem de um sistema produtor-consumidor.

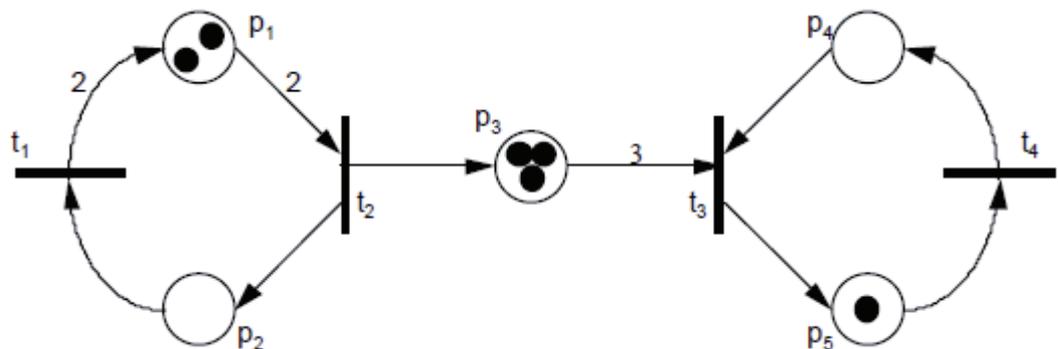


Figura 2.3: Uma Rede de *Petri* marcada (fonte: RAMOS e BARROS, 2001).

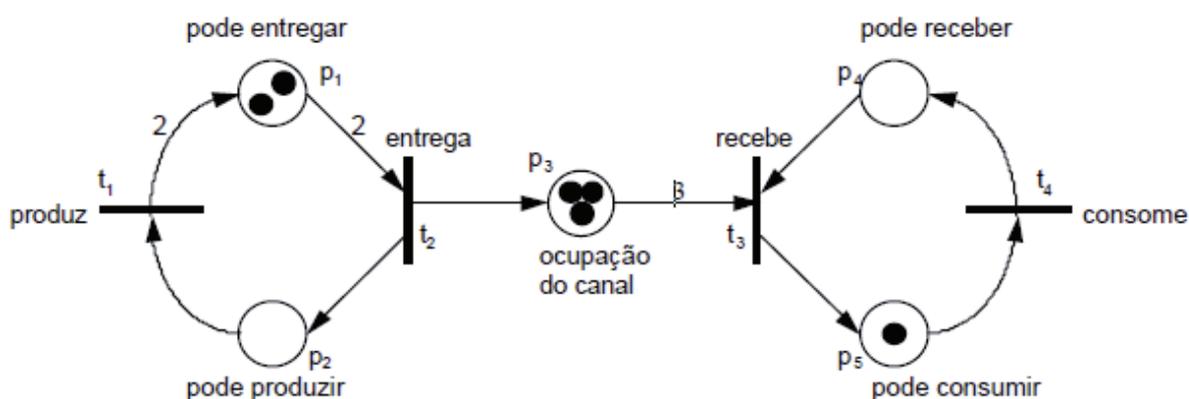


Figura 2.4: Rede de Petri com pesos associados aos arcos (RdP generalizada) e marcada, com interpretação (fonte: RAMOS e BARROS, 2001).

Os produtos são produzidos aos pares e para cada par é entregue uma unidade de produto. Por outro lado, o consumidor (modelado pelos lugares p_4 e p_5 e pelas transições t_3 e t_4) necessita receber três unidades e, posteriormente, de consumir antes de poder receber mais unidades.

As RdPs permitem a modelagem e visualização de atividades de processo que envolva: paralelismo e concorrência, partilha de recursos, sincronização, memorização, limitação de recursos e leitura.

Além do fluxo de controle, as RdPs podem também representar o fluxo de dados (*dataflow*). Num modelo do fluxo de dados os operadores são acionados pela chegada dos operandos. Numa RdP os operandos são representados pela presença de marcas nas condições e os operadores estão associados aos eventos.

As RdPs não oferecem apenas uma representação para a estrutura e funcionamento de um sistema. Permite a visualização do comportamento do sistema através do fluxo das marcas (RAMOS e BARROS, 2001).

2.4. Propriedades das RdP

As RdPs possuem algumas propriedades que são classificadas de duas formas gerais: as que dependem e as que não dependem do estado inicial (M_0) ou marcação inicial. Também podendo ser classificadas em propriedades comportamentais (ou dinâmicas) e estruturais (ou estáticas).

As propriedades estruturais são aquelas que não dependem do marco zero (M_0), estas propriedades se preocupam com a sequência correta dos disparos para

qualquer M_0 , não se modificam no transcurso de seu funcionamento e caracterizam a estrutura da rede.

As propriedades comportamentais são aquelas que dependem do marco zero (M_0), modificam-se durante o seu funcionamento. Segundo MARRANGHELLO (2005), seguem algumas propriedades:

- Conservação: corresponde ao caso que o número total de marcas na rede não se modifica. A ação é classificada como conservativa se a soma dos arcos que conecta às suas pré-condições for igual à soma dos arcos que a conecta às suas pré-condições. Desta forma, quando a ação for executada, nenhum recurso conectado a ela será criado ou eliminado;
- Consistência: uma RdP é consistente se ao disparar uma seqüência de ações a partir de uma marcação inicial, for possível retornar a esta marcação executando, pelo menos uma vez, cada uma das ações da rede;
- Vivacidade: uma RdP é dita viva se for possível executar todas as suas ações a partir de qualquer uma das marcações alcançáveis da rede;
- Limitação: uma RdP é limitada se em cada lugar da rede, o número total de marcas nunca exceder a um inteiro k . Neste caso a rede é dita k -limitada. Se a rede for limitada ao inteiro 1, diz-se que a rede é segura. É limitada estruturalmente se for limitada para qualquer marcação inicial;
- Cobertura: uma RdP é dita coberta se, para toda a marcação M' , alcançável a partir de M_0 , existir outra marcação M'' , maior ou igual a M' e alcançável a partir de M' . M'' é considerada maior ou igual a M' , se o número de marcas em cada lugar de M'' for maior ou igual ao número de marcas do lugar correspondente em M' , para todos os lugares da rede;
- Persistência: uma RdP é dita persistente se havendo mais de uma ação habilitada, em qualquer das marcações da rede, a ocorrência de uma delas não desabilita a ocorrência das demais;
- Alcançabilidade: uma marcação é dita alcançável em uma RdP se existir uma seqüência finita de disparos que conduza a ela a partir da marcação inicial. Se todas as marcações alcançáveis forem decorrentes da inicial, a rede é dita alcançável;
- Reiniciabilidade: uma RdP é dita reiniciável se, para qualquer marcação alcançável, for possível voltar à marcação inicial.

- ✓ Reversibilidade: uma RdP é dita reversível se, existir uma marcação base, acessível de qualquer outra marcação do conjunto de alcançabilidade da rede (Definição de marcação de base: é uma marcação M_h , alcançável a partir de M_0 , tal que para toda a marcação M_i , também alcançável a partir de M_0 , haja uma sequência de disparos que leve de M_i a M_h).
- ✓ Repetitividade: uma RdP é repetitiva se existir uma sequência de disparos, associada a uma dada marcação, na qual todas as ações são executadas um número de vezes infinito.

2.5. Derivações das RdP

De acordo com VAN DER AALST, W.M.P.(1994) foram propostos novos modelos para modelagem em RdP, chamadas de coloridas (*colour*), temporais (*timed*) e hierárquicas (*hierarchy*). As redes derivadas de RdP permitem aumentar o poder de abstração.

Devido à complexidade e exigência dos sistemas industriais a partir dos anos 90, a RdP clássica tornou-se simples e extremamente grande para se modelar estes sistemas, seguindo os conceitos de condição e evento, por isso foi proposto primeiro que as marcas fossem “coloridas”, facilitando a modelagem de objetos com atributos. Em segundo lugar, foi adicionado o “tempo”, para modelar o comportamento temporal do sistema. E finalmente, foi indicada uma “estrutura hierárquica” para decompor sistemas complexos. Assim, adicionando funções nas RdP original, sendo chamadas de Alto Nível.

2.5.1. Redes de Petri Coloridas

O formalismo original das RdPs coloridas foi definida por Kurt Jensen na sua tese de PH.D publicada em 1980, conforme indicado por JENSEN (1993). Desde então, possui um grupo de estudos no Departamento de Ciência da Computação da Universidade de Asrhus, na Dinamarca, sendo considerado um dos mais importantes centros de desenvolvimento da RdP de Alto Nível.

Conforme indicado por VAN DER AALST, W.M.P.(1994), as marcas nas RdPs são classificadas em alguns sistemas modelados como objetos (por exemplo,

recursos, mercadorias, seres humanos), ou seja, as marcas possuem atributos. Como na RdP clássica possui uma limitação para modelar sistemas complexos, definiu-se na RdP colorida que as “cores” seriam os atributos relacionados aquelas marcas, permitindo um alto grau de abstração uma vez que é possível individualizar as marcas.

Como exemplo, é possível utilizar a máquina modelada da Figura 2.5 a seguir para esclarecer este conceito. Essa modelagem possui dois tipos de marcas os que representam trabalhos e os que representam as máquinas de uma fábrica. Marcas nos lugares cin e cout representam trabalhos a serem executados. Estes trabalhos podem ter atributos como o número de identificação, uma descrição e uma data de vencimento. É possível modelar estes dados definindo as marcas no cin e no cout e com um valor (cor), que corresponde a esses atributos.

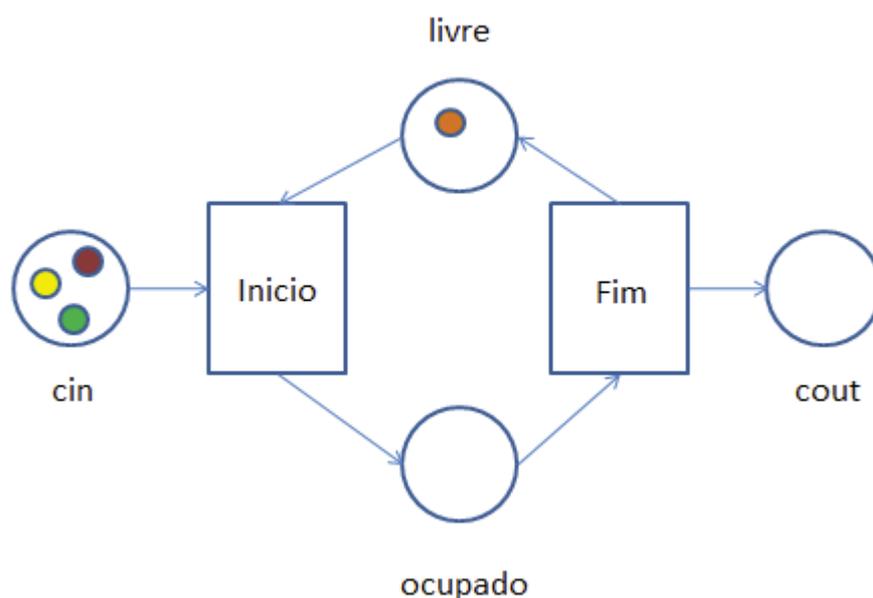


Figura 2.5: Clássica Rede de Petri representando uma máquina. (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).

Na Figura 2.6, é visualizado que o trabalho em cin tem um número de identificação 3241. A marca no estado “livre” representa uma máquina e seu valor contém informações sobre esta máquina (tipo e de modo).

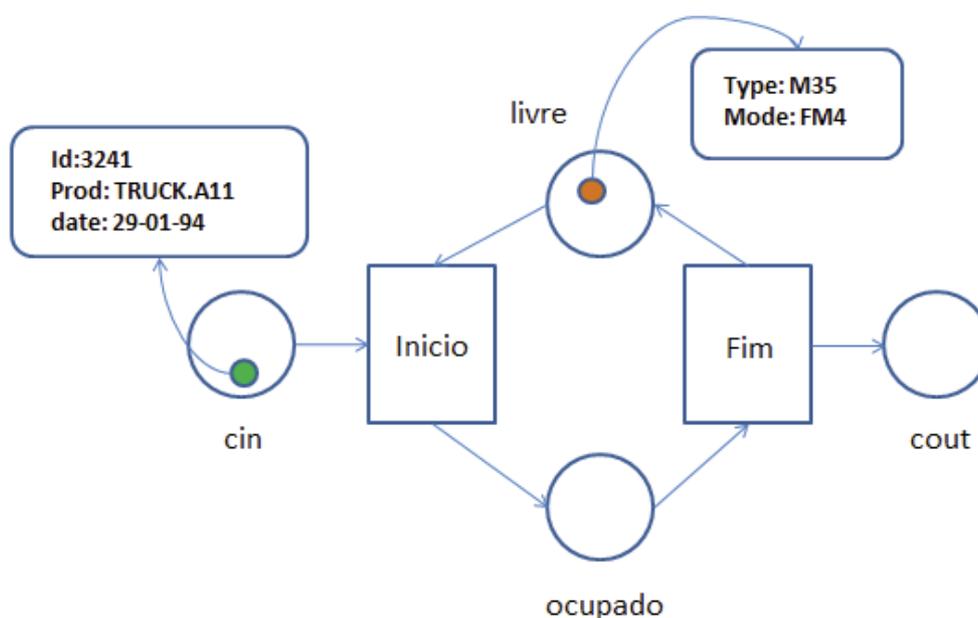


Figura 2.6: Adicionando as regras das Redes de Petri coloridas. (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).

As transições determinam os valores da produção das marcas com base nos valores das marcas consumidos, isto é, uma transição descreve a relação entre os valores das marcas de entrada e os valores das marcas de saída. Também é possível especificar pré-condições, início de transição pode ser uma condição que especifica que os trabalhos requerem uma máquina de um tipo específico.

2.5.2. Redes de Petri temporais (Timed Petri Net)

Para sistemas reais muitas vezes é necessário descrever o comportamento temporal do sistema, ou seja, é necessário modelar os tempos e atrasos. Uma vez que a RdP clássica não é capaz de manipular o tempo de forma quantitativa, é possível inserir o conceito de tempo. Há muitas maneiras para introduzir tempo nas RdP Clássica. Exemplo disso, é possível utilizar um mecanismo de tempo em que o tempo é associado com marcas e transição para determinar atrasos. Estes conceitos foram introduzidos na tese de PhD de Ramchandani, C., em 1973, conforme indicado por SIFAKIS (1977), associando os tempos de disparos com os eventos nas RdPs. Ramchandani estudou o comportamento do estado estacionário e indicou métodos para calcular a taxa de transferência para certas classes de RdPs.

Segundo VAN DER AALST, W.M.P. (1994) considere a rede mostrada na Figura 2.7, cada marca tem um *timestamp* que modela o tempo, a marca torna-se disponível para consumo depois de finalizado o tempo definido. A marca está livre quando possui o *timestamp* igual a 0 e as marcas em cin possuem *timestamps* variando de 1 a 9. A marca pode ser considerada como disponível quando o seu *timestamp* estiver indicando 1, portanto o *timestamp* indica se a marca está ou não habilitada. (Tempo 1 é o primeiro momento para a qual cada um dos locais de entrada contém uma marca que está disponível). Portanto, o início de transição é no tempo 1, assim definimos um sinal ocupado com *delay* de 3. O *timestamp* deste sinal é igual a $1 + 3 = 4$.

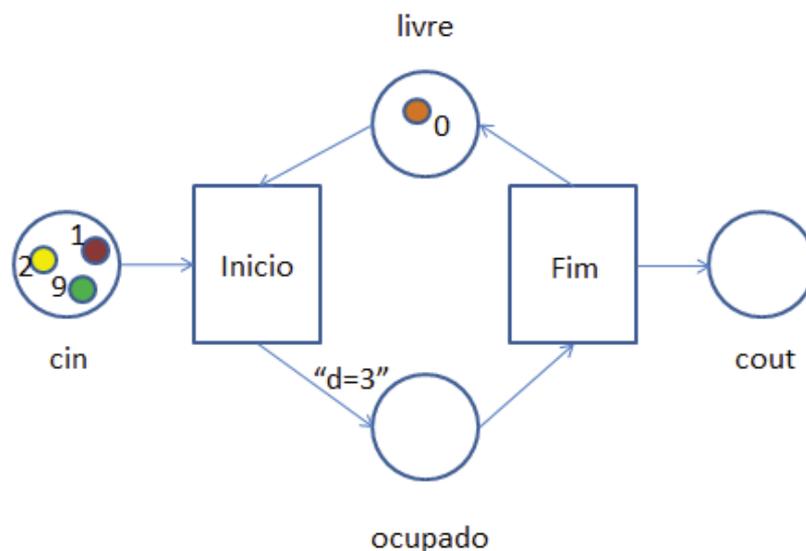


Figura 2.7: Adicionando as regras das Redes de Petri com tempo. (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).

A transição irá finalizar no próximo disparo (no tempo 4). O *delay* da produção da marca pode ser descrito como um valor fixo, um intervalo ou uma probabilidade de distribuição.

2.5.3. Redes de Petri hierárquica

Apesar das RdPs coloridas e temporais permitir em uma descrição sucinta de muitos processos industriais, com especificações precisas para sistemas reais, existe uma tendência de tornar-se ainda grande e complexa. Esta foi a razão de desenvolver-se uma construção hierárquica para o sistema como um todo. Assim o mesmo sistema terá agregado lugares, transições e (possivelmente) subsistemas.

De acordo com ZUBEREK, W.M. e BLUEMKE, I (1996) foram propostas abordagens para estruturação de RdPs no final dos anos 80's. A intenção destes métodos era reduzir a complexidade do modelo dividindo-o em submodelos. Neste mesmo artigo são formalizados e unificados vários métodos informais propostos para refinamentos de RdPs com características hierárquicas e modelos de RdPs modulares.

A Figura 2.8 mostra a definição do sistema da máquina. Este sistema é composto de dois lugares (livre e ocupado) e duas transições (início e fim) e dois conectores (*cin* e *cout*). Estes conectores proporcionam uma interface com o ambiente do sistema da máquina. O conector *cin* é um conector de entrada de marcas, ou seja, marcas poderão entrar no sistema através deste conector. *Cout* é um conector de saída de marcas, isto é, marcas podem deixar o sistema através deste conector. Se um subsistema é usado, os conectores estão ligados a pontos de um sistema em "nível mais elevado".

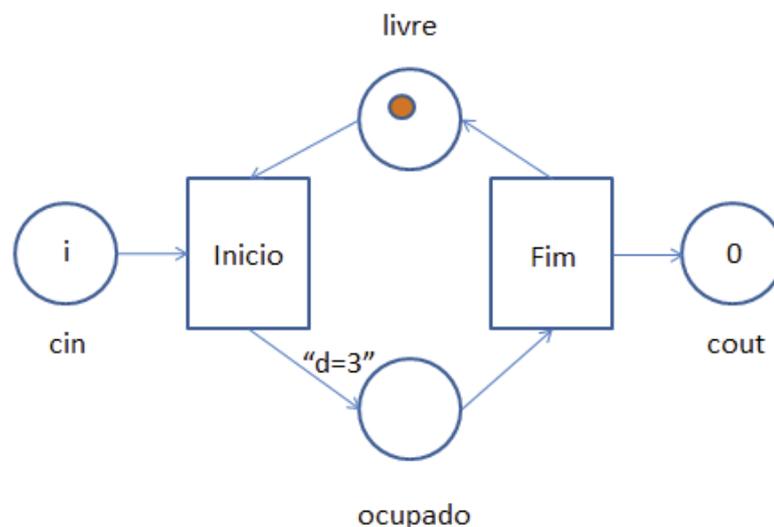


Figura 2.8: Definição de sistema de máquina. (fonte: (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).

Considere por exemplo a rede mostrada na Figura 2.9. Nesta rede as mesmas definições são 'instaladas' três vezes. Neste caso, para cada uma destas "instalações", o conector *cin* está ligado ao local de chegada de trabalhos (chegada) e o conector *cout* está ligado ao lugar liberação de trabalhos prontos (saída), isto é, os conectores no interior do sistema da máquina são "colados" em cima de lugares em maior nível.

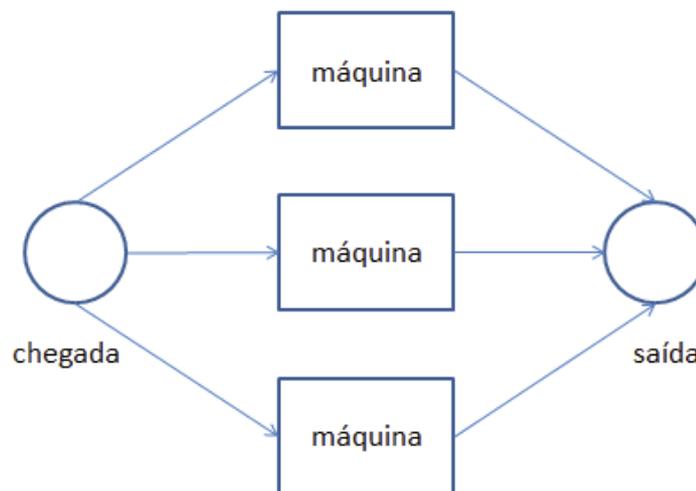


Figura 2.9: Modelagem de três sistemas de máquinas em paralelo. (fonte: (fonte: VAN DER AALST, W.M.P., 1994).

Este conceito de sistema permite uma modelagem de forma hierárquica, isso é aplicável para decompor sistemas complexos em subsistemas menores, sendo que é possível um número arbitrário de níveis. O conceito de sistema pode ser aplicado em estruturas maiores a serem detalhadas. Em um primeiro nível pode-se especificar uma visão generalizada do sistema, sendo que os outros níveis irão detalhar os comportamentos com maior precisão (VAN DER AALST, 1994).

2.6. Introdução teórica do *Production Flow Schema* (PFS)

Para modelagem de sistemas de eventos discretos, a abordagem *top-down* apresenta resultados eficazes, em que muitas das atividades executadas podem ser apresentadas como macro-eventos, hierarquicamente, pois o detalhamento das atividades pode confundir ou até mesmo ser incompreensível pela extensão da rede modelada.

Portanto a técnica *Production Flow Schema* (PFS) tem o propósito de descrever, graficamente e conceitualmente, os processos de produção em sequências de etapas de atividades e de distribuição (MIYAGI, 1996). O PFS não apresenta um comportamento dinâmico de um sistema, uma vez que se a relação entre as atividades, baseada em uma rede em que não há marcação (como as redes de *Petri*). O seu objetivo é representar o fluxo de operações (sequenciamento) tendo como referência a evolução de um determinado processo (SANTOS FILHO, 2001).

A estrutura desta técnica é apresentada da seguinte maneira:

- Elementos (ativos) correspondentes a atividades (chamados de ATIVIDADE, vide Figura 2.10);
- Elementos (passivos) correspondentes a distribuições (chamados de distribuidores, vide Figura 2.10);
- Arcos, que representam as relações entre os elementos anteriores;

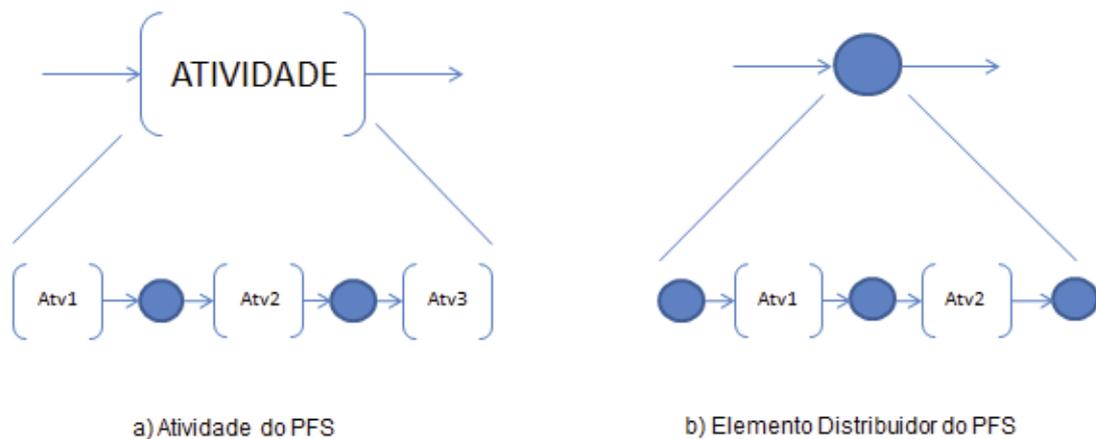


Figura 2.10: Elementos da PFS

Conforme a Figura 2.10, as atividades correspondem aos macro-eventos que representam a realização de uma ou conjunto de atividades do processo a ser modelado. Os arcos indicam a direção do fluxo, arcos conectados na parte externa da atividade indicam o fluxo principal, e os conectados na parte interna, o fluxo secundário. O distribuidor corresponde ao local/momento de decisão ou fluxo de entrada e saída de informação/produtos de um processo.

Sendo representados da seguinte maneira:

- Distribuidores, representados por círculos;
- Atividades, representados por um bloco delimitado por dois colchetes;
- Arcos orientados dos distribuidores às atividades;
- Arcos orientados das atividades aos distribuidores;
- Inscrições em linguagem natural ou formal no distribuidores, atividades e arcos (MIYAGI, 1996).

A estrutura do modelo do PFS dos elementos-atividade tem como função representar um sub-processo (caracterizado por uma sequência 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 com uma entrada e saída bem definida que caracteriza a funcionalidade de cada um destes módulos (SANTOS FILHO, 2001).

Dessa maneira, é possível seguir com a sistemática PFS/RdP, em que os elementos-atividade podem ser expandidos em duas transições e um lugar (lugar-atividade) (MIYAGI, 1996). 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 Figura 2.11, 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 Figura 2.12.

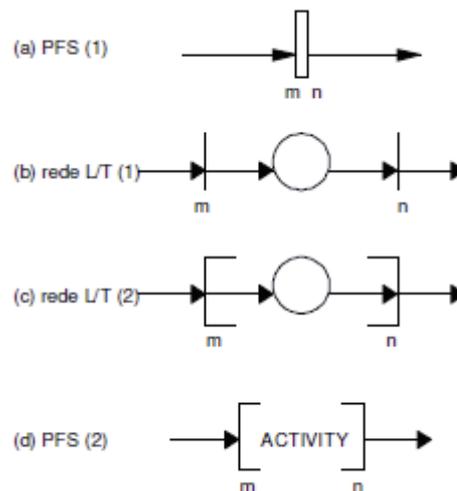


Figura 2.11: Elemento atividade em RdP (fonte: NAKAMOTO, 2008)

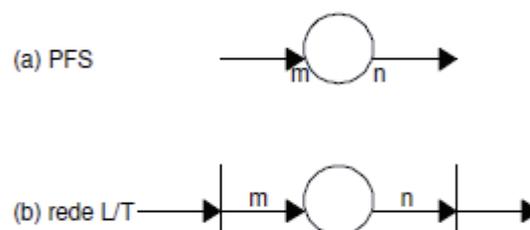


Figura 2.12: Elemento distribuidor em RdP (fonte: NAKAMOTO, 2008)

3. Metodologia

Conforme SAMPAIO PEREIRA (2010), a metodologia da pesquisa é delineada conforme a abordagem que se vai utilizar: quantitativa, qualitativa ou ambas. Os itens que compõem a metodologia são os mesmos para as duas abordagens. No entanto, os critérios para definição da amostra da pesquisa, os instrumentos de coleta de dados e a forma pela qual os dados obtidos serão tratados são distintos, ou seja, dependem da abordagem escolhida, como se pode ver a seguir.

Tipos de Pesquisa:

1. Pesquisa bibliográfica: é aquela desenvolvida com base em publicações acessíveis ao público, ou seja, em livros periódicos, anais de congressos, jornais, entre outras fontes. É a base para a elaboração de trabalhos científicos de qualquer natureza. Pode, ainda, esgotar-se em si mesma, no caso de trabalhos teóricos-críticos;
2. Pesquisa documental: é aquela que se vale de documentos conservados por organizações públicas ou privados ou, ainda, por pessoa física. Regulamentos, balancetes, correspondência comerciais e pessoais, banco de dados de empresas são, entre outros, exemplos de documentos de pesquisa;
3. Pesquisa de campo: é aquela que tem como objetivo a obtenção de dados empíricos. Implica certo grau de interação com as pessoas relacionadas ao fenômeno que se está investigando. Ocorre no campo, ou seja, no local onde se dá o fenômeno;
4. Pesquisa de laboratório: ao contrário da pesquisa realizada no campo, a pesquisa de laboratório ocorre em local circunscrito, como, por exemplo, as simulações em computador (VERGARA, 2004 apud SAMPAIO PEREIRA, 2010).

Essas possibilidades se aplicam tanto à abordagem quantitativa quanto à qualitativa.

No caso deste trabalho foi realizada a metodologia quantitativa, através da pesquisa documental e de campo.

Durante a pesquisa, foram realizadas consultas a documentos oficiais da empresa, para uso interno, que especificam a forma como os equipamentos foram

desenvolvidos e como devem ser instalados em campo. Além disso, a partir da consulta da intranet da empresa, foram obtidas informações de exemplos de sucesso de instalação nas demais filiais.

Apesar das consultas previamente mencionadas, as principais fontes de informações foram das entrevistas realizadas com os projetistas que trabalham na especificação de materiais. A partir do resultado destas entrevistas foi elaborado o primeiro banco de dados contemplando todos os códigos possíveis de especificação de materiais para instalação dos equipamentos RBS, de todos os modelos utilizados na unidade Brasil. Conforme exemplificando na Figura 3.1:

ITENS E QUANTITATIVOS		
FAPB1301578/3009	RBS6102 GSM 3x4 900MHz 40W	1
FAPB1301578/3061	RBS6102 4,4,4, 14W, 1800MHz,75ohm,+24VDC (RUS)	1
FAPB1301578/3060	RBS6102 6,6,6, 14W, 1800MHz,75ohm,+24VDC (RUS)	1
FAPB1301498/3024	RBS6201_444_15W_1800MHz_+24VDC_RUS	1
501/BYB40501		1
FAPB1301498/3025	RBS6201_666_15W_1800MHz_+24VDC_RUS	1
501/BYB40501		1
FAPB1301578/2026	RBS6102 WCDMA 3x1 850MHz 60W (RUS - 1 DUW30)	1
FAPB1301603/2033	Expansão 2100 MHz para 6102 ou 6201, SEM DUW	1
FAPB1301498/2010	Gabinete completo para Macro 6201 850MHz	1
501/BYB40501		1
FAPB1301603/2033	Expansão 2100 MHz para 6102 ou 6201, SEM DUW	1

Figura 3.1: Exemplo de banco de dados com a codificação dos itens de materiais.

Na Figura 3.1 é possível visualizar a primeira coluna com os códigos de cadastro dos materiais, na segunda o descritivo, e à terceira coluna a quantidade necessária dependendo da solução, portanto dentro deste banco de dados possui materiais de códigos repetidos, porém com quantitativos diferentes.

Por meio da análise do banco de dados, foi possível identificar itens em comum, que foram agrupados em atendimento à especificação de determinada funcionalidade do equipamento, mesmo sendo de configurações diferentes. Estes grupos tornaram-se blocos de funções. Vide na Figura 3.2:

PERGUNTAS	RESPOSTAS	ITENS E QUANTITATIVOS		
Qual a frequência a ser utilizadas?	900Mhz	FAPB1301578/3009	RBS6102 GSM 3x4 900MHz 40W	1
		FAPB1301578/3061	RBS6102 4,4,4, 14W, 1800MHz,75ohm,+24VDC	1
		FAPB1301578/3060	RBS6102 6,6,6, 14W, 1800MHz,75ohm,+24VDC	1
		FAPB1301498/3024	RBS6201_444_15W_1800MHz_+24VDC_RUS	1
		501/BYB40501		1
		FAPB1301498/3025	RBS6201_666_15W_1800MHz_+24VDC_RUS	1
		501/BYB40501		1
	2100/850Mhz	FAPB1301578/2026	RBS6102 WCDMA 3x1 850MHz 60W (RUS - 1	1
		FAPB1301603/2033	Expansão 2100 MHz para 6102 ou 6201, SEM DUW	1
		FAPB1301498/2010	Gabinete completo para Macro 6201 850MHz	1
		501/BYB40501		1
		FAPB1301603/2033	Expansão 2100 MHz para 6102 ou 6201, SEM DUW	1

Figura 3.2: Exemplo de identificação dos códigos dos itens em blocos.

Na Figura 3.2, na primeira coluna foram mapeados os questionamentos que o projetista faz para si mesmo, quando inicia a especificação, na segunda coluna estão as respostas e a partir da terceira coluna, refere-se à Figura 3.1. Observa-se que para cada resposta existe um grupo de itens com seus respectivos códigos, descrições e quantitativos, separados por uma linha em branco na planilha eletrônica. Portanto, este grupo de itens é um bloco de função definido para a resposta respectiva.

Ainda por meio de análise do banco de dados, verificou-se que, para cada modelo de equipamento ou características externas de instalação, linhas diferentes de decisões deveriam ser seguidas, e assim as listas de materiais modificavam-se de acordo com estas características, em quantitativos de materiais, modelo de equipamento, itens específicos de infraestrutura, energia, transmissão etc, conforme cada necessidade.

Com a pesquisa bibliográfica foi possível verificar a possibilidade da utilização das RdP para modelar as decisões de acordo com as características externas do ambiente a ser instalado e do modelo de equipamento a ser fornecido, e as PFS para modelar as atividades macros, conduzindo o processo de forma sucinta.

Após a modelagem das macro-atividades em PFS, seu refinamento com a RdP e o banco de dados agrupados em materiais por funcionalidade, foi possível desenvolver uma ferramenta em planilha eletrônica (*Microsoft Excel*, 2010). Essa ferramenta, seguindo a RdP, questiona o projetista a respeito de decisões de projeto conduzindo-o e limitando-o a decisões coerentes com as respostas anteriores. A partir das respostas é realizada a comparação no banco de dados, liberando apenas os conjuntos de materiais relacionados as funções selecionadas.

Portanto, a metodologia empregada é o processo cíclico de elaboração e implementação de um projeto. Realizando o levantamento das necessidades, dos requisitos, definição das especificações, análises de soluções, definição das soluções, elaboração da sistemática, implementação, validação e teste da ferramenta.

4. Modelagem do sistema de execução da lista de materiais

Neste capítulo será descrita a modelagem para o sistema de execução da LM.

Primeiramente é necessário definir o objeto de estudo, a lista de material. Todo equipamento de Telecomunicações que será instalado ou ampliado é pré-determinado pelo cliente para diversos locais (endereços), estas localizações denominamos de *sites*. Porém, para se realizar a instalação ou ampliação destes equipamentos, são necessários os materiais de instalação, que envolvem:

- O equipamento (*hardware*);
- Materiais para instalação do sistema irradiante, composta pelo cabo que interliga 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.

Porém, para definir qual é o melhor equipamento para aquela determinada localização e configuração, é necessário apresentar ao cliente uma solução através da consulta das documentações fornecidas e, além disso, ter conhecimento prévio de quais tipos de equipamentos são possíveis de serem utilizados para esta solução. Portanto, existe um estudo de todas as informações, entre cliente e fornecedor, alcançando a melhor proposta de equipamento e solução para cada necessidade.

Isto significa que será necessário modelar não apenas um quantitativo de itens de materiais de instalação, mas também o processo de definição da solução necessária para cada solicitação do cliente.

Esta atividade é uma das mais importantes dentro do escopo dos serviços prestados pelo fornecedor com relação às atividades de pré-instalação do equipamento, pois especificações incorretas ocasionam diversos retrabalhos na cadeia produtiva e, principalmente, custos adicionais não previstos, tais como, horas extras da mão de obra na fábrica para envio de materiais adicionais, perda da meta

semanal de instalação do equipamento junto ao cliente, mão de obra dos instaladores, aluguel de equipamentos como andaimes ou guindastes, entre outros.

Por não ser um processo simples, foi verificada a necessidade de utilizar duas técnicas para realizar a modelagem deste processo. O PFS (*Production Flow Schema*) foi utilizado para realizar uma análise com a visão macro do processo, definindo-se as atividades principais a serem realizadas. E, em seguida, mediante refinamento sucessivo através das RdP, detalhou-se cada atividade *Macro* do PFS. A partir do modelo PFS, empregando-se a sistemática PFS/RdP realiza-se o mapeamento para RdP, definindo de forma detalhada cada decisão e característica do processo a ser realizado.

4.1. Processo de pré - instalação de equipamento de Telecomunicações

Na implantação da rede 2G e 3G, foi definido pelo cliente em quais regiões que cada fornecedor iria atuar no país. Isso implica no volume de venda do fornecedor para o cliente, dependendo da demanda de usuários finais de cada região, e sua manutenção até a extinção da tecnologia.

Neste momento, define-se através do estudo de densidade demográfica das regiões, topográfico e otimização da rede para determinada demanda, qual a necessidade de implantação de novos equipamentos e em quais regiões. A partir destas informações, o cliente determina os endereços e informa a seus fornecedores o local de instalação dos novos equipamentos. O local e endereço de onde serão instalados estes equipamentos são denominados de *sites*.

A área comercial da empresa fornecedora negocia junto ao cliente, a quantidade de *sites* que possuem a necessidade de ampliação da rede com novos equipamentos em um determinado período de tempo, que no geral é de 1 (um) ano e as premissas adotadas para a efetivação deste contrato. Isto é apresentado formalmente através do PN (Plano Nominal) gerando o primeiro documento oficial entre fornecedor e cliente. Neste mesmo documento é definido o tipo de *hardware* que deve ser instalado nos *sites* (definição *site a site*).

Através deste escopo definido e o PN, tem-se as informações necessárias para que o departamento de engenharia desenvolva a documentação necessária para a instalação da solução, e a especificação dos materiais, assim gerando a LM.

Após a especificação dos materiais, são enviados para a fábrica os itens necessários para cada *site*, codificados através do sistema SAP, em forma de ordem de venda. Esta ordem de venda gera a necessidade de compra dos materiais pela fábrica, para os itens que não são fabricados, e para os itens fabricados internamente são demandados para produção na linha de produção fabril.

Com a entrega dos materiais em *site*, as equipes de técnicos de instalação são acionadas para a instalação e integração dos equipamentos. Após a finalização da integração, os equipamentos são testados pelo cliente, verificam se as documentações estão de acordo com o planejado, finalizando o projeto com a aceitação do *site* pelo cliente, onde é efetuado o pagamento ao fornecedor.

A Figura 4.1 apresenta uma visão geral do processo de instalação de um equipamento, incluindo o momento da elaboração da LM:



Figura 4.1: Visão geral do processo de instalação de equipamentos.

4.2. Introdução da Modulação Digital e as técnicas para múltiplo acesso.

Em Telecomunicações, um dos grandes avanços tecnológicos foi a possibilidade de se comunicar sem a necessidade de ir a um ponto fixo que tivesse um aparelho ou a telefonista para fazer uma ligação. A necessidade da sociedade de se ter mais velocidade na comunicação e com individualidade, fez com que houvesse estudos para o desenvolvimento de uma rede de comunicação que trouxesse essa independência.

Portanto, baseados nas equações de Maxwell, considerando a propagação de ondas no espaço livre, conforme as equações descritas abaixo (HAYT e BUCK (2003), foi possível desenvolver uma rede de comunicação sem fio:

$$\nabla \times H = \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times E = -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot E = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (4)$$

Porém, com o aumento populacional, e a necessidade de novos tipos de serviços nas redes, foi necessária a melhoria da rede através de técnicas que houvesse como principal característica a transferência de um grande volume de dados. Assim, desenvolveu-se a rede de telefonia sem fio com modulação digital.

Segundo POTTER (2005), modulação descreve o processo de variação de um ou mais parâmetros de um sinal, com relação as suas mudanças para outro sinal. Na comunicação sem fio, as informações do comportamento do sinal são modulados conforme o sinal da onda contínua da portadora. As variações das técnicas de modulação envolvem a modulação da amplitude, frequência, e da fase do sinal da portadora, separadamente, ou em combinação com outra.

A informação, ou modulação do sinal é essencialmente a banda base do sinal. A modulação do sinal da portadora é o “passa-banda” do sinal. A frequência que domina o processo de modulação é da banda base. Geralmente a frequência da portadora é muito maior do que da largura da banda do sinal de modulação.

A escolha da frequência da portadora é de grande influência para determinar o tamanho e ganho das antenas, como também a performance de propagação do sinal através do meio sem fio.

Devido as grandes demandas de consumo, principalmente a necessidade do aumento da capacidade de transferência de dados, desenvolveu-se métodos de modulação digital para aumentar os serviços prestados pelas redes de celulares, oferecendo além da voz, dados e serviços de multimídia.

Na modulação digital, todas as informações são transmitidas em forma digital, ou seja, em formatos binários, exemplo "0" ou "1". Um sinal pode ser transformado de analógico para um sinal digital através do processo de amostragem, onde é captado os seus níveis do sinal analógico de tempos em tempos, obedecendo a frequência de *Nyquist* (a taxa de amostragem deve ser maior do que 2 vezes da maior frequência do sinal original, neste caso da frequência da largura da banda).

Para a maioria dos sistemas de comunicações permite um grande número de usuários se comunicando simultaneamente, compartilhando ou não os recursos disponíveis, utilizando as técnicas de múltiplo acesso.

Para as comunicações com um único canal, é possível definir em dois tipos: simples = um meio de comunicação ou duplo = dois meios de comunicação, assim sendo classificados em:

- TDD: *Time Division Duplex*, dois meio de comunicação, com a mesma frequência separada por intervalos de tempo;
- FDD: *Frequency Division Duplex*, dois meios de comunicação, ao mesmo tempo porém com frequências diferentes;

Para todos os métodos de múltiplo acesso é usado o conceito que cada suporte do usuário pode ser realizado de forma ortogonal com qualquer outro, isto quer dizer, separando-os em frequência, tempo atribuindo-lhes um código único, explorando a separação espacial, ou alguma combinação entre eles.

Estes conceitos formam as bases do:

- FDMA: *Frequency Division Multiple Access*;
- TDMA: *Time Division Multiple Access*;
- CDMA: *Code Division Multiple Access*;

Todas as técnicas de múltiplo acesso sofre a degradação da *desempenho* provocada pela interferência de outros usuários. Um usuário pode interferir com outro usuário do FDMA, se parte considerável do seu sinal se encontra na frequência de outro sinal, isto é chamado de interferência do canal adjacente. Para o usuário de TDMA na mesma frequência (como usuário vizinho) pode contribuir para um nível de interferência deste mesmo canal. Para os usuários de CDMA, finitos códigos correlacionados e a potência de cada usuário, além de níveis de ruído de fundo podem contribuir para múltiplas interferências de acesso.

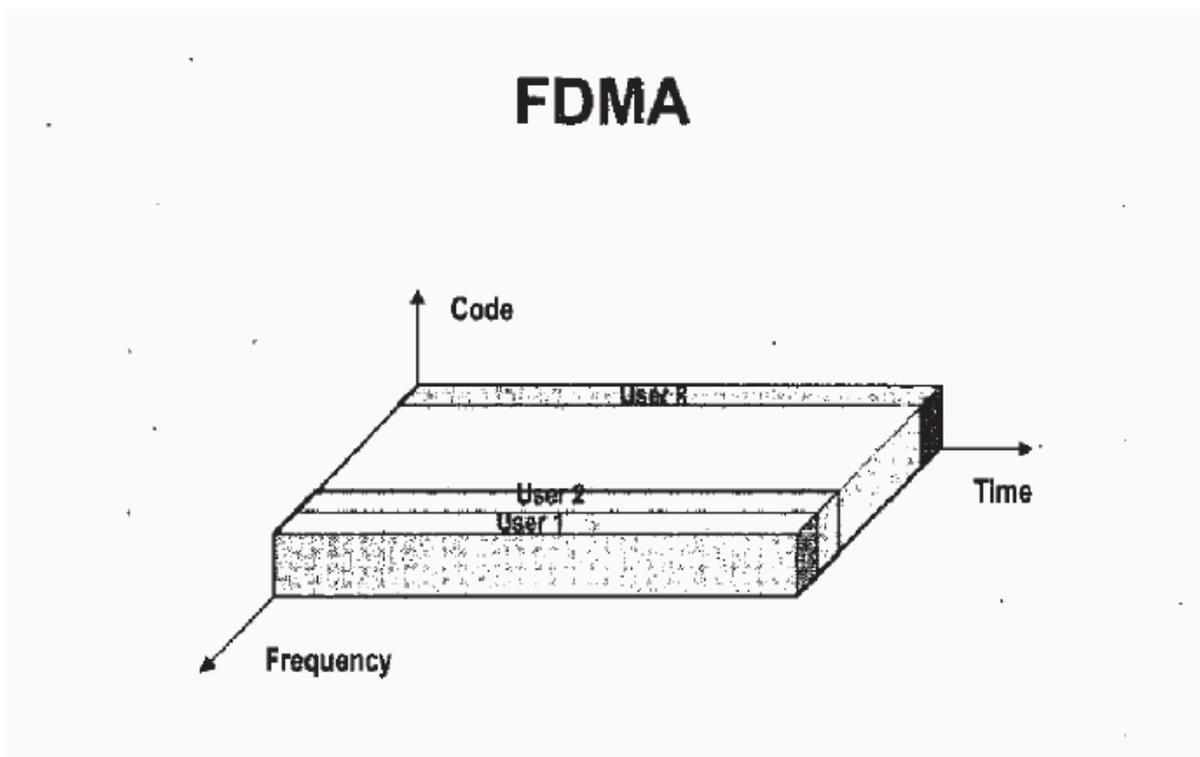


Figura 4.2: Representação gráfica do FDMA, fonte: POTTER, 2005.

No FDMA, conforme na Figura 4.2, cada usuário é atribuído a um canal de frequência. Os usuários podem se comunicar ao mesmo tempo.

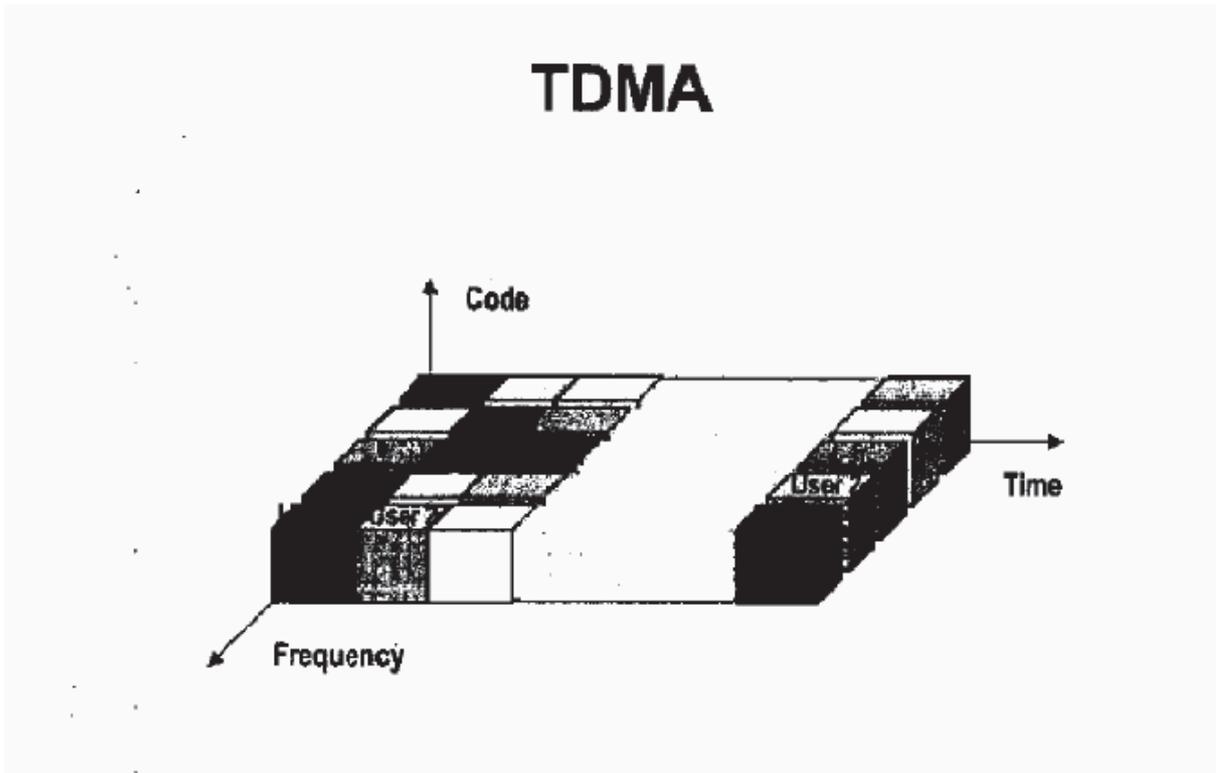


Figura 4.3: Representação gráfica do TDMA, fonte: POTTER, 2005.

No TDMA, conforme na Figura 4.3, os usuários podem se comunicar na mesma frequência, porém são atribuídos diferentes *slots* (pedaços) no tempo (POTTER, 2005).

Segundo HENDESSI et al (1997), no sistema TDMA, o canal de tempo é dividido em *time slots* e todos os usuários possuem um particular *time slots* atribuído enquanto esta em chamada, utilizando a banda do canal. Por exemplo, o sistema GSM utiliza 200kHz de banda de canal. A transmissão por este canal é realizada em forma de *frames* (quadro). Cada *frame*, possui o tamanho de 4.615 msec, sendo dividido em 8 *times slots*, com 577µsec de tamanho. Portanto o canal está sendo compartilhado por 8 usuários. Isto de forma eficaz, significa que na média 1/8 do recurso do canal é consumido pelo usuário. Para o FDMA, pode ser considerado o equivalente para alocação dos recursos de 25 kHz por usuário, nestes casos a capacidade pode ser aumentada para 16 usuários por canal ou na alocação de recursos para 12,5 kHz.

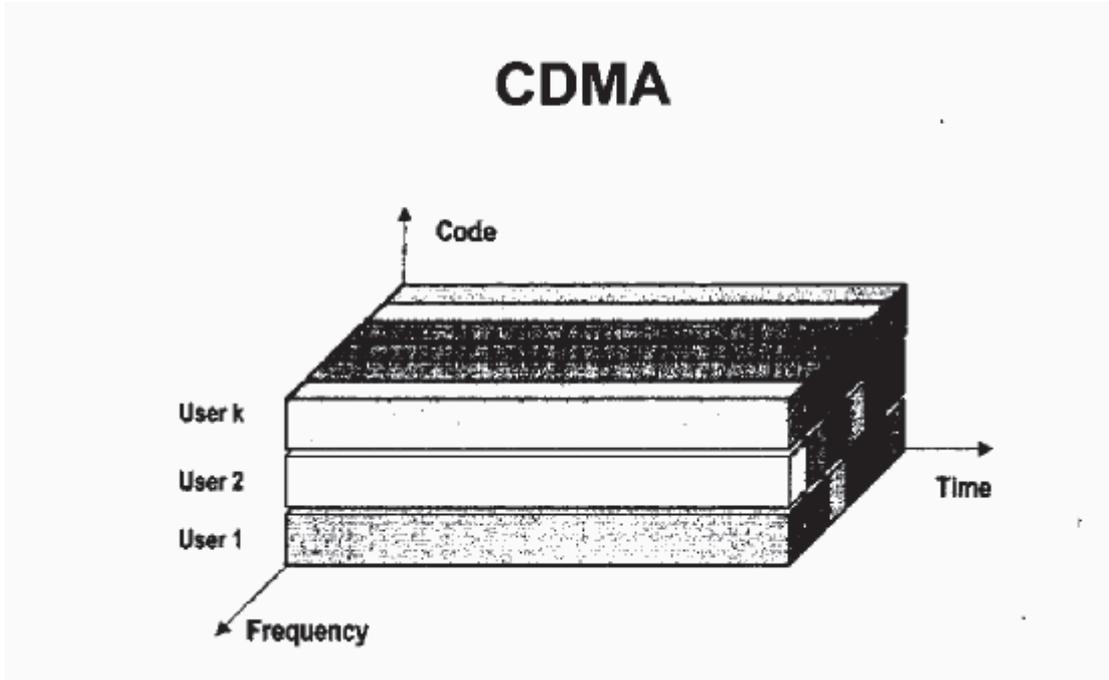


Figura 4.4: Representação gráfica do CDMA, fonte: POTTER, 2005.

No CDMA, conforme na Figura 4.4, os usuários podem se comunicar na mesma frequência e no mesmo tempo, mas é atribuído um único código com baixas propriedades de correlação cruzada (POTTER, 2005).

Cada sinal consiste em uma diferente sequência binária *pseudorandom* que modula as portadoras, espalhando no espectro a forma de onda. Um grande número de sinais CDMA compartilha o mesmo espectro de frequência. Se o CDMA é visto em qualquer domínio da frequência ou do tempo, os sinais nos múltiplos acessos podem aparecer um em cima dos outros. Os sinais são separados nos receptores utilizando uma sequência binária correlacionada apenas a este sinal. O sistema de telefonia celular no CDMA possui a capacidade de realizar uma chamada com 10kHz de ocupação do espectro (QUALCOMM,1992). Vide na Figura 4.5:

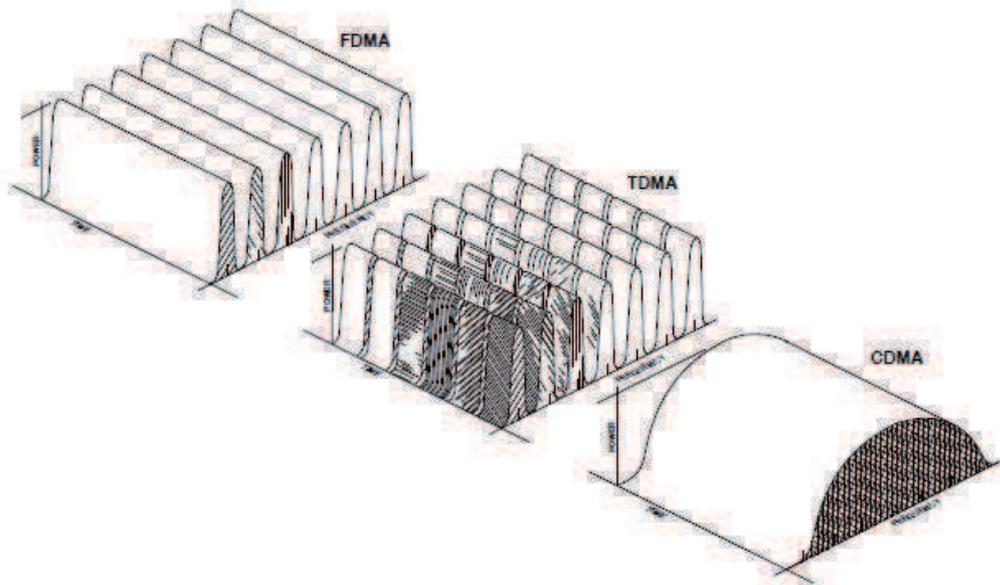


Figura 4.5: Representação do FDMA, TDMA e CDMA no domínio da frequência e tempo, fonte: QUALCOMM,1992.

Por exemplo, é possível fazer a seguinte analogia: em uma grande sala existem diversas pessoas conversando, comparando com a rede de celular. O TDMA seria quando todas as pessoas estivessem no centro da sala, sendo que elas falariam em turnos, uma após a outra, enquanto que o FDMA seria quando as pessoas se juntassem em grupos, sendo que cada grupo realizaria a sua própria conversa, e todos os grupos falariam ao mesmo tempo e o CDMA seria quando todos estivessem no meio da sala, falando ao mesmo tempo, sendo que cada par falaria em um idioma diferente. Portanto, a idéia do CDMA é ser capaz de extrair o sinal desejado enquanto rejeita todo o resto como um ruído randômico.

4.3. Evolução das tecnologias da rede de celulares.

A primeira geração de rede de celulares foi chamada de AMPS (1G), depois houve diversas evoluções, chamadas de gerações 2G, 3G e 4G. Conforme Figura 4.6:

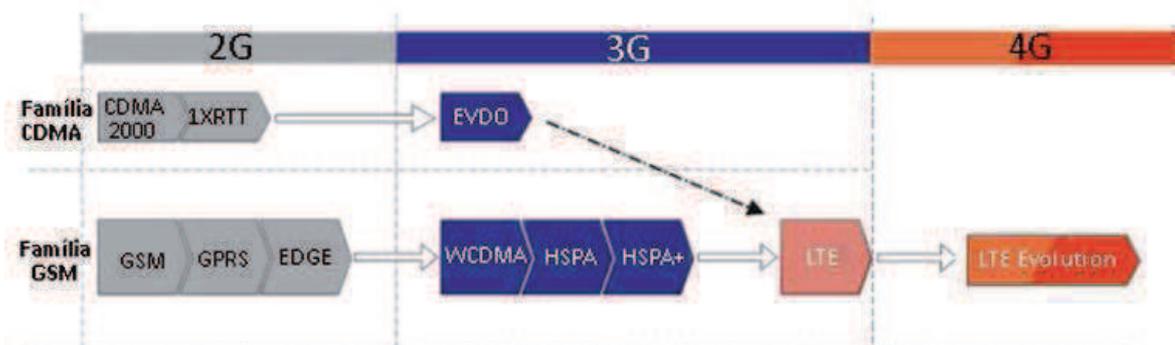


Figura 4.6: Evolução das tecnologias nas redes de celulares em telecomunicação (fonte: TUDE, 2003a).

Gerações de Sistemas Celulares – Resumo:

1G – Sistemas analógicos como o AMPS;

2G – Sistemas digitais como o GSM, CDMA (IS-95-A) ou TDMA IS-136. Esta geração permitiu o desenvolvimento de extensões que possibilitam serviços de dados por pacotes a taxas de até 114 Kpbs, sendo chamadas de GPRS e EDGE para o GSM e o 1XRTT (*1x Radio Transmission Technology*) para o WCDMA;

3G - Sistemas digitais que permitem serviços de dados por pacotes e taxas maiores que 256 kbps. Os principais sistemas são o WCDMA/HSPA e o CDMA EVDO;

4G - O LTE Advanced é a tecnologia aceita como 4G pela ITU (*International Telecommunication Union*). Este sistema possui taxas de *download* de 100Mbps com usuário em movimento e 1Gbps com o usuário parado e, com taxa *uplink* de até 500Mbps. Apesar das velocidades maiores, este sistema foi desenvolvido para ter maior capacidade de dados, porém com baixo custo e maior eficiência espectral com largura de banda.

Segundo TUDE (2003a), em 1983, o AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) entrou em funcionamento nos Estados Unidos. Foi considerada a primeira geração de sistemas celulares analógico, sendo desenvolvido por Bell Labs em 1979. Serviu como base para outro sistema analógico como o TACS (*Total Access Communication System*) do Reino Unido.

Com o aumento da demanda pela utilização deste sistema de celulares, fez com que fosse desenvolvido um novo sistema, porém maior capacidade, assim surgiu à segunda geração de sistemas celulares, mas digitais.

A solução TDMA surgiu como uma opção que mantinha compatibilidade com a arquitetura e canalização utilizada pelos sistemas AMPS tendo sido inicialmente chamada de DAMPS ou Digital AMPS.

O AMPS e o TDMA (IS-136) apresentam, portanto, a mesma arquitetura básica apresentada na Figura 4.7, a seguir.

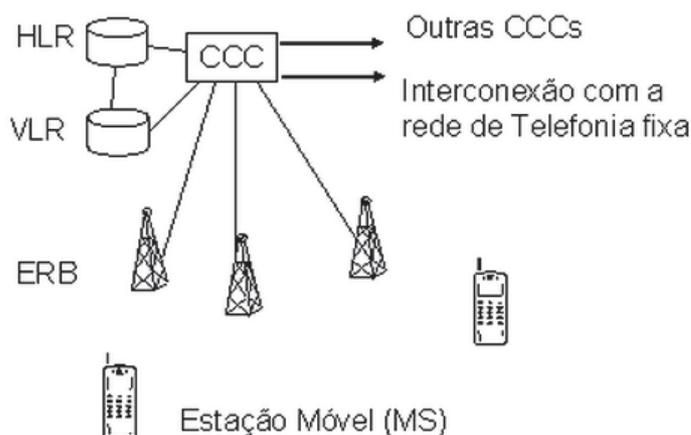


Figura 4.7: Arquitetura básica do AMPS e TDMA (fonte: TUDE, 2003a).

- **Mobile Station (MS)** - Ou Estação Móvel é o terminal utilizado pelo assinante. A estação móvel é identificada por um MIN (*Mobile Identification Number*). O equipamento dispõe ainda de um número de série eletrônico (ESN).
- **Estação Rádio Base (ERB)** - A ERB é o equipamento encarregado da comunicação com as estações móveis em uma determinada área que constitui uma célula.
- **Central de Comutação e Controle (CCC)** - A CCC é a central responsável pelas funções de comutação e sinalização para as estações móveis localizadas em uma área geográfica designada como a área da CCC.
- **Home Location Register (HLR)** - Ou Registro de Assinantes Locais é a base de dados que contém informações sobre os assinantes de um sistema celular.
- **Visitor Location Register (VLR)** - Ou Registro de Assinantes Visitantes é a base de dados que contém informações sobre os assinantes em visita (roaming) a um sistema celular.
- **Frequências de Operação (MHz)** - O AMPS foi padronizado para a frequência de 800 MHz alocada nos Estados Unidos para sistemas Celulares. O TDMA (IS-

136) foi padronizado para a faixa de 800 MHz e 1900 MHz alocada posteriormente para sistemas celulares nos Estados Unidos.

- **Canalização** - O AMPS é um sistema que utiliza o múltiplo acesso por divisão de frequência (FDMA).

A banda do AMPS é dividida em canais de RF (*radio frequency*), onde cada canal consiste de um par de frequências (Transmissão e Recepção) com 30 kHz de banda cada. Cada Banda (A ou B) ocupa 12,5 MHz e é composta por 416 canais, sendo 21 canais de controle e os demais de voz. Os canais no AMPS utilizam modulação FM. No AMPS, um canal de voz é alocado e permanece dedicado a uma chamada durante toda a sua duração (TUDE, 2003a).

O TDMA (IS-136) mantém toda a estrutura de canalização do AMPS, mas permite que um canal seja compartilhado no tempo por vários usuários através de múltiplo acesso por divisão no tempo (TDMA). A estrutura de transmissão de dados é implementada através de um *frame* de 40ms com 6 intervalos (*Slots*) de tempo com 6,66 ms cada. Cada chamada telefônica utiliza dois intervalos de tempo sendo, portanto, possíveis até 3 conversações utilizando a mesma banda de 30 kHz de um canal de voz do AMPS (TUDE, 2003a).

Nos anos 80, os países da Europa desenvolveram sistemas de celulares diferentes uns dos outros, isso não permitiu a maior comunicação entre estes países. Devido a este problema, os Europeus criaram um grupo de estudos, chamado de *PanEuropeu*, para padronizar um sistema que fosse possível se comunicar entre si.

A partir desse objetivo, desenvolveu-se a tecnologia GSM. Inicialmente o GSM disponibilizava as bandas de 900 MHz (GSM900), mas com o crescimento rápido de usuários na rede foi necessário expandir a banda agregando a frequência de 1800 MHz (GSM1800) também. Em 1993 já havia 33 redes GSM em 22 países, com 1,3 milhões de assinantes em todo o mundo.

Nas fases de testes, verificou-se que existiam muitas possibilidades, por isso foi subdividido em três fases:

- Fase I (*Phase I*): foi direcionada para os serviços básicos de telefonia móvel, tais como: voz, *roaming* internacional, Serviços básicos de dados, bloqueio de chamada, encaminhamento de chamadas e *Short Message* (SMS);

- Segunda fase (*Phase II*) alguns serviços novos foram implementados a tecnologia como: aviso de cobrança, chamada retida, identificador de chamadas, chamada em espera, conferência, grupos fechados de usuários e comunicação de dados adicional (*GPRS - General Packet Radio Service*);
- Na última fase (*Phase II+*) os serviços de perfil de Multi Serviços e Plano de números privados e serviços fax foram incorporados à tecnologia, além de iniciar a utilização da banda de 1800 MHz.

As bandas do GSM são divididas em canais de RF, onde cada canal consiste de um par de frequências (Transmissão e Recepção) com 200 kHz de banda cada. Para efeito de comparação das tecnologias, a eficiência de utilização do espectro, ou capacidade de um sistema GSM é maior que a do AMPS e menor que um sistema TDMA (IS-136). Por exemplo: em uma banda de 30 kHz o AMPS tem capacidade para uma chamada telefônica e o TDMA três. Já o GSM em 200 kHz tem capacidade para oito chamadas.

Para seguir com o estudo na evolução das tecnologias, é necessário o conhecimento prévio de algumas definições. Segundo TUDE (2003b), para entender a arquitetura da rede é necessário estudar a estrutura geográfica da rede. A tecnologia GSM utiliza uma estrutura dividida em células (o que explica o termo “rede célula”). Uma célula é composta de uma antena transmissora e uma Estação Rádio Base (*Base Transceiver Station – BTS*). Existem dois tipos de células:

- **Omnidirecional:** possui este nome porque a área de cobertura desta célula é direcionada a um raio de 360° em relação o ponto inicial de propagação.
- **Setorizada:** concentra sua cobertura em um único setor (60°), o que possibilita a cobertura de não somente uma célula e sim três como mostra a Figura 4.8 abaixo.

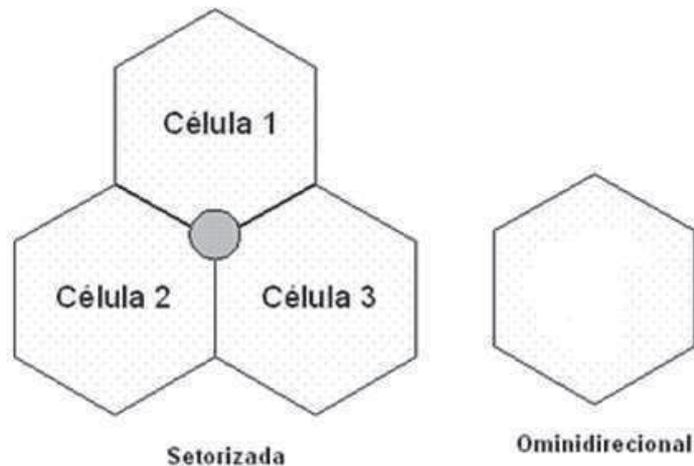


Figura 4.8: Célula setorizada e omnidirecional (fonte: TUDE, 2003b).

- **Área de Localização (Location Area – LA)** - Por se tratar de uma rede móvel, o GSM possui uma arquitetura de localização de usuários, sendo organizada de forma hierárquica. Uma LA (*Location Area*) é um conjunto de células em um determinado setor dentro da rede. Uma operadora GSM pode possuir n LA's em sua rede e cada uma delas recebe uma identificação chamada de LAC (*Location Area Code*).
- **Área de Serviço da MSC** - As LA's são controladas por uma MSC (*Mobile Switching Center*), onde é a central de comutação de chamadas. Uma operadora pode ter n MSC's em sua rede dependendo do tamanho da cobertura. Uma MSC controla uma ou mais LA's como pode ser observado na Figura 4.9 abaixo. Todas as informações sobre os usuários presentes em determinada LA são enviadas para a MSC.

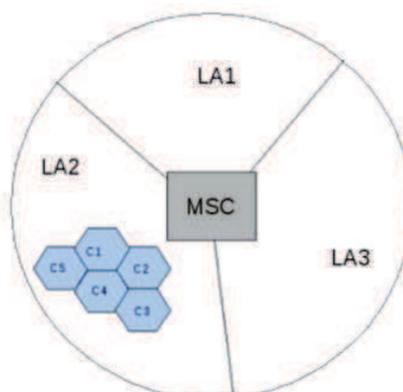


Figura 4.9: Área de serviço da MSC (fonte: TUDE, 2003b).

- **Rede PLMN** - Uma PLMN (*Public Land Mobile Network*) é um conjunto de LA's, ou seja, é a área total de cobertura da operadora. Cada operadora possui uma PLMN.
- **Rede GSM** - É o conjunto de PLMN's espalhadas no mundo, ou seja, é a área total no Globo onde existe cobertura GSM.

Esta estrutura é utilizada para as demais gerações de tecnologias, após o GSM. Abaixo serão definidas as duas evoluções do GSM, porém ainda dentro da segunda geração:

- O GPRS (*General Packet Radio Service*) é um serviço para comunicação de dados que permite a estação móvel uma conexão a Internet sem a necessidade de se estabelecer uma chamada telefônica (*always on*). Este serviço pode utilizar até os 8 *time slots* de uma canal GSM de 200 KHz o que implica em uma taxa que teoricamente poderia chegar a 115 kbit/s.
- O EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) é um padrão desenvolvido para aumentar a taxa de dados para serviços oferecidos pela rede GSM. É possível de esta forma oferecer 48 kbit/s por *slot* de tempo o que possibilitaria o oferecimento de conexões IP (*Internet Protocol*) de até 384 kbit/s (TUDE, 2003b) Seguindo ainda dentro da segunda geração, o CDMA é uma tecnologia que utiliza espalhamento espectral (*Spread Spectrum*) como meio de acesso para permitir que vários usuários compartilhem uma mesma banda de frequências.

A arquitetura básica de um Sistema Celular CDMA (IS-95) é apresentada na Figura 4.10 a seguir:

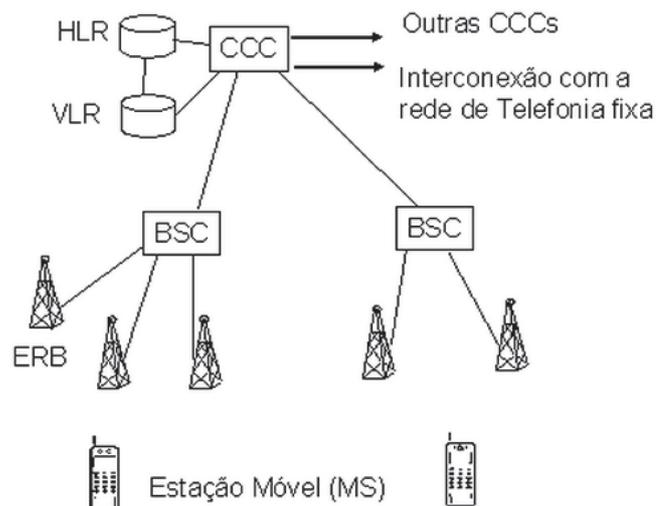


Figura 4.10: Estrutura básica de um Sistema Celular CDMA, IS-95 (fonte: TUDE, 2003c).

- **Base Station Controller (BSC)** - Controla um grupo de ERBs. Em alguns sistemas CDMA as funções do BSC são implementadas na CCC.

As bandas do CDMA são divididas em canais de RF, onde cada canal consiste de um par de freqüências (Transmissão e Recepção) com 1,25 MHz de banda cada. Teoricamente poderiam existir, portanto, até 10 canais de RF em uma banda de 12,5 MHz como ocorre na faixa de 800 MHz. Na prática o número é menor, pois esta banda é dividida com o AMPS e é necessário estabelecer uma guarda banda.

Diferente dos demais sistemas onde o múltiplo acesso de vários terminais a uma mesma ERB é feito alocando uma freqüência para cada terminal (AMPS), ou compartilhando uma mesma faixa de freqüência, mas transmitindo em tempos diferentes (TDMA), no CDMA o acesso múltiplo de canais que compartilham uma mesma banda de freqüências é feito pela utilização de códigos diferentes pelos vários terminais. A informação é extraída destes canais conhecendo-se a chave específica com a qual cada canal é codificado.

Segundo TUDE (2003c) o CDMA utiliza a técnica de “*Spread Spectrum*” na qual o sinal de informação é codificado utilizando-se uma chave de código que provoca o seu espalhamento espectral em uma banda transformando-o aparentemente em ruído.

Quanto mais usuários utilizam o canal maior o ruído, aumentando a interferência para os canais que utilizam a mesma banda até um limiar quando não é mais possível decodificar os canais.

Esta interferência também é tanto maior, quanto maior for a potência individual de cada canal transmitido naquela banda. Este comportamento motivou o desenvolvimento de um sofisticado mecanismo de controle de potência nos terminais e ERBs de um sistema CDMA. Este controle de potência leva também à expansão e à contração do raio de uma célula CDMA conforme o seu carregamento com tráfego.

A setorização de células é usada para reduzir a interferência, uma vez que cada setor utiliza antenas direcionais e não interferem nos demais setores da célula. Um dos fatores que contribui para a grande capacidade alcançada por sistemas CDMA é a possibilidade de utilização de reuso de 1, ou seja, a mesma frequência de portadora é reutilizada em todas as células.

Seguindo a evolução das tecnologias de terceira geração, o GSM com serviços com taxas de dados de até 2 Mbit/s vem sendo padronizada pelo 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP). Esta evolução exigiu a definição de um novo padrão para a interface entre Estação Móvel e ERB com canais de RF de 5 MHz.

As primeiras gerações de sistemas celulares foram desenvolvidas visando principalmente o tráfego de voz. Porém com o avanço da Internet, e a grande utilização pela população desta tecnologia, houve a necessidade do desenvolvimento da telefonia móvel neste sentido.

Devido a esta necessidade foram definidos os requisitos de um sistema celular de terceira geração no projeto IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*) da ITU, como sendo:

- Altas taxas de dados: 144 kbit/s em todos os ambientes e 2 Mbit/s em ambientes "Indoor" e de baixa mobilidade.
- Transmissão de dados simétrica e assimétrica.
- Serviços baseados em comutação de circuitos e comutação de pacotes.
- Qualidade de voz comparável à da telefonia fixa.
- Melhor eficiência espectral
- Vários serviços simultâneos para usuários finais, para serviços multimídia.
- Incorporação suave dos sistemas celulares de 2º geração.
- *Roaming* global.
- Arquitetura aberta para a rápida introdução de novos serviços e tecnologias.

A recomendação ITU-R M.1457 adotou vários padrões de interfaces rádio para estes sistemas, sendo os principais o Cdma 2000, o *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) e o EDGE.

A implantação de uma operadora de um sistema de terceira geração envolve investimentos altos em equipamentos e infraestrutura, devido a esta condição buscou-se desenvolver padrões que facilitassem a evolução dos padrões existentes da segunda geração. Isto deu origem a duas grandes linhas de evolução de tecnologias: UMTS e o cdma2000.

O Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) é o termo adotado para designar o padrão de 3ª Geração estabelecido como evolução para operadoras de GSM e que utiliza como interface rádio o WCDMA ou o EDGE. Até o ano de 2000 o desenvolvimento de padrões para o GSM foi conduzido pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). A partir desta data a responsabilidade passou a ser do 3rd Generation Partnership Project (3GPP), que é um esforço conjunto de várias organizações de *standards* ao redor do mundo para definir um sistema celular global de 3º Geração UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

O cdma2000 é o padrão de 3ª Geração de sistemas celulares baseados no IS-95. O 3rd Generation Partnership Project 2 (3GPP2) é a organização responsável pelas especificações. (TUDE, 2003c) Sendo o foco deste trabalho nos equipamentos desenvolvidos para o padrão UMTS.

A arquitetura do UMTS pode ser representada simplificada pela Figura 4.11, a seguir.

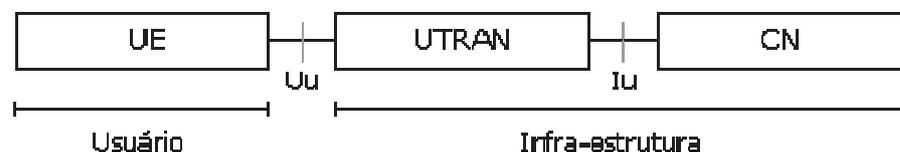


Figura 4.11: Arquitetura do UMTS (fonte: TUDE, 2003c).

Onde:

- **UE** - *User Equipment*, ou equipamento do usuário. É o terminal móvel e seu módulo de indentidade de serviços do usuário (USIM) equivalente ao SIM card dos terminais GSM.

- **UTRAN** - *UMTS Terrestrial Rádio Access Network*, ou rede terrestre de acesso rádio do UMTS baseada no *Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA)*.
- **CN** - *Core Network* ou núcleo da rede que suporta serviços baseados em comutação de circuitos e comutação de pacotes.

Uu e Iu são as interfaces entre estas entidades. A Figura 4.12, a seguir, apresenta uma visão mais detalhada desta arquitetura.

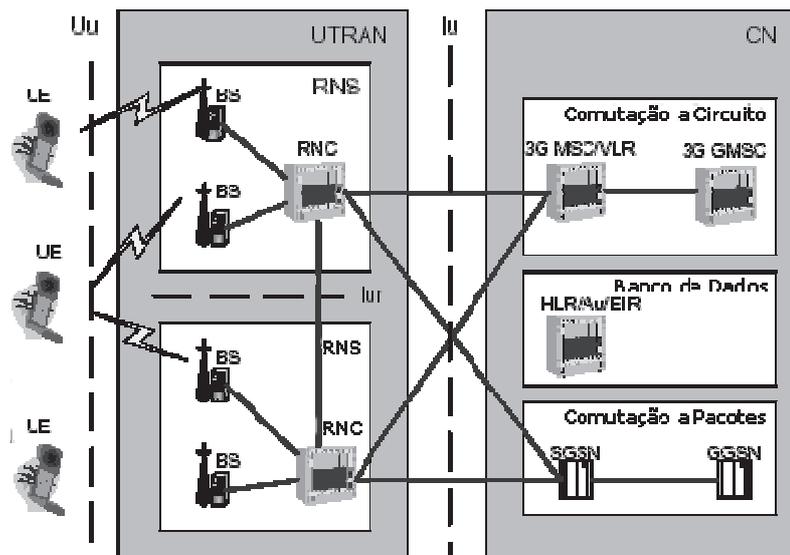


Figura 4.12: Indicação das interfaces Uu e Iu (fonte: TUDE, 2003c).

- **RNS**: *Radio Network Subsystem*.
- **RNC**: *Radio Network controller*.
- **Iur**: é a interface entre dois RNS.

Em que a interface Uu, conecta o usuário final (UE) com a BS (Base Station) que posteriormente conectam-se aos concentradores, chamadas de RNCs, agrupando as informações enviadas de diversas BSs. Em seguida visualiza-se a interface Iu, onde se realiza a comunicação entre as entidades UTRAN e CN, em que CN contempla os equipamentos de comutação a circuito, banco de dados e comutação de pacotes, resumindo a inteligência da rede.

A comunicação realizada através da interface rádio do UTRAN utiliza 3 tipos de canais como apresentado na Figura 4.13 a seguir.

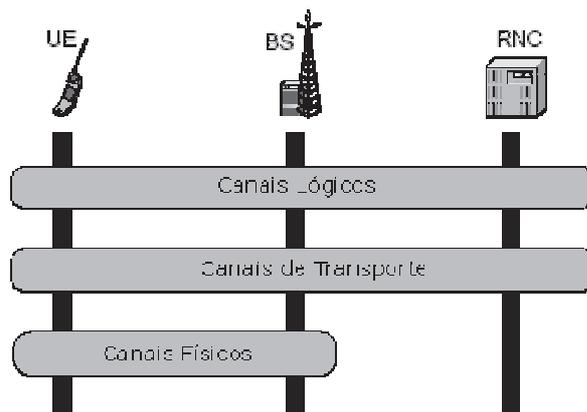


Figura 4.13: Representação dos canais da interface rádio UTRAN (fonte: TUDE, 2003c).

Os canais lógicos são mapeados nos canais de transporte. RNC lida com canais de transporte utilizados para transportar diferentes fluxos de informação. E os canais físicos compõem a existência física da interface Uu. Diferentes tipos de banda podem ser alocadas para diferentes finalidades.

A interface rádio Uu entre terminal do usuário e sua rede terrestre de acesso rádio (UTRAN) é baseada no *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA). O WCDMA é um padrão de interface rádio, entre o terminal celular e a Estação Rádio Base, desenvolvido para o UMTS e padronizado pela UIT.

O WCDMA utiliza como método de múltiplo acesso o CDMA de Sequência Direta (DS-SS-SS), com os vários terminais compartilhando uma mesma banda de frequências, mas utilizando códigos diferentes de espalhamento espectral. Um dos aspectos mais importantes dos celulares de terceira geração (3G) é o acesso aos serviços de dados através de uma rede de pacotes aperfeiçoada (*Enhanced Data Packet Access*).

As melhorias do WCDMA foram indicadas nos *Releases* do 3GPP, por exemplo, no *Release 99* ofereceu taxas de dados de 384 kbit/s, enquanto que o *Release 5* apresentou um novo canal de transporte de downlink, entre a *base station* (BS) e o equipamento do usuário (EU) melhorando o suporte a aplicações de alto desempenho para rede de pacotes, reduzindo a latência e possibilitando picos de transmissão de dados de até 14 Mbit/s.

O padrão WCDMA 3GPP Release 6 apresenta, entre outras melhorias, um canal de transporte de *uplink* aperfeiçoado (*Enhanced Uplink*). Esse canal de *uplink*, também conhecido como HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), disponibiliza

taxas de transmissão de dados maiores, latência reduzida e maior capacidade de transporte de dados, possibilitando picos de transmissão de dados de até 5,8 Mbit/s. Juntos os padrões HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) e *Enhanced Uplink* são conhecidos como HSPA (*High Speed Packet Access*).

O maior benefício do padrão HSPA é a possibilidade de oferecer uma experiência melhorada para o usuário. Na prática isto significa tempo menor de *download* e *upload* com altas taxas de transmissão de dados e latência reduzida, quando comparado com o WCDMA 3GPP Release 99 (TUDE, 2005). A banda larga móvel tornou-se uma realidade, portanto a necessidade das pessoas de se comunicarem instantaneamente solicita a contínua evolução das tecnologias, neste conceito, foi desenvolvido o *LTE - Long Term Evolution*, uma evolução das tecnologias de terceira geração, capaz de oferecer velocidades acima de 200 Mbit/s.

O LTE oferece vários benefícios, segue alguns exemplos:

- **Desempenho e capacidade:** um dos requisitos do LTE é fornecer taxas de pico downlink de pelo menos 100Mbit/s. A tecnologia permite velocidades acima de 200Mbit/s. Além disso, a latência deverá ser inferior a 10ms. Efetivamente, isso significa que o LTE – mais do que qualquer outra tecnologia – já atende aos principais requisitos de 4G.
- **Ampla variedade de terminais:** além dos telefones móveis, computadores e dispositivos eletrônicos incorporarão módulos LTE. Como o LTE suporta *handover* e *roaming* para redes móveis existentes, todos esses dispositivos podem ter cobertura de banda larga móvel ubíqua desde o primeiro dia.

Em resumo, as operadoras podem introduzir a flexibilidade do LTE para ir ao encontro dos objetivos de suas redes existentes, espectro e negócios para banda larga móvel e serviços multimídia (TUDE, 2005).

Os equipamentos a serem estudados neste trabalho, serão as BTS das tecnologias GSM e WCDMA, pois foram às tecnologias adotadas para a rede do cliente do fornecedor em questão, neste momento não terá abrangência até os equipamentos LTE, podendo ser indicado como a possibilidade de trabalhos futuros.

4.4. Definições gerais das soluções dos equipamentos

Os *sites* são locais estratégicos para a cobertura da região, sendo os endereços definidos pelo cliente para instalação ou expansão dos equipamentos. Conforme indicado anteriormente, ambas as tecnologias são setorizadas, isto significa que teremos soluções com 2 ou 3 setores, esta informação é importante pois os quantitativos de materiais diferenciam-se de acordo com o número de setores.

A nomenclatura utilizada para indicar qual a solução a ser adotada, é diferente para cada tecnologia a ser estudada. No GSM, para indicar qual *hardware* deve ser instalado, é indicado no formato (x,y,z) a quantidade de TRXs (*transceiver*) necessários para atender a demanda da região, por setor. Por exemplo, a configuração (4,4,4), são 4 TRXs por setor.

No WCDMA, o formato é mesmo, porém a informação indicada é diferente. Existem duas opções para o WCDMA, (1,1,1) ou (2,2,2), esta indicação significa quais as frequências de banda que serão necessárias para o *site*. Para a configuração (1,1,1) podem ser instalações nas frequências de 850 ou 2100Mhz, e na configuração (2,2,2) são para as duas frequências.

Mas isso não significa que não é possível ter outras configurações para ambas às tecnologias, esta padronização foi definida entre cliente e fornecedor, para redução de custos de produção e armazenamento de estoques, pois como as frequências e quantidades de TRXs por setor definem diretamente as características dos *hardwares* a serem fabricados verificou-se a necessidade da padronização dos equipamentos de maneira a ser possível a utilização em diferentes *sites* e soluções.

A especificação do *hardware* e materiais de instalação contidos neste trabalho são para as RBSs (*radio base station*) estação de rádio base, também conhecida como "*Cell site*", dependendo da literatura é possível encontrar as nomenclaturas ERB (Estação Rádio Base), BS (*Base Station*), BTS (*Base Transceiver Station*) e NodeB (análogo à BTS dos sistemas celulares 2G, em que a BTS utiliza o GSM para interface aérea e a NodeB o WCDMA). Sendo a denominação dada em um sistema de telefonia celular para a estação fixa com que os usuários finais (terminais móveis) se comunicam, e este se comunica com uma central de comutação e controle com interconexões com os serviços telefônicos fixo comutado (telefone fixo) e outras centrais permitindo chamadas entre os terminais celulares e deles com os telefones fixos.

Além do equipamento de propriedade de cada fornecedor, possui o sistema irradiante com as antenas e o cabo de interligação entre eles, formando a estação de rádio base. Na Figura 4.14, apresenta a representação desta etapa na rede de celulares.

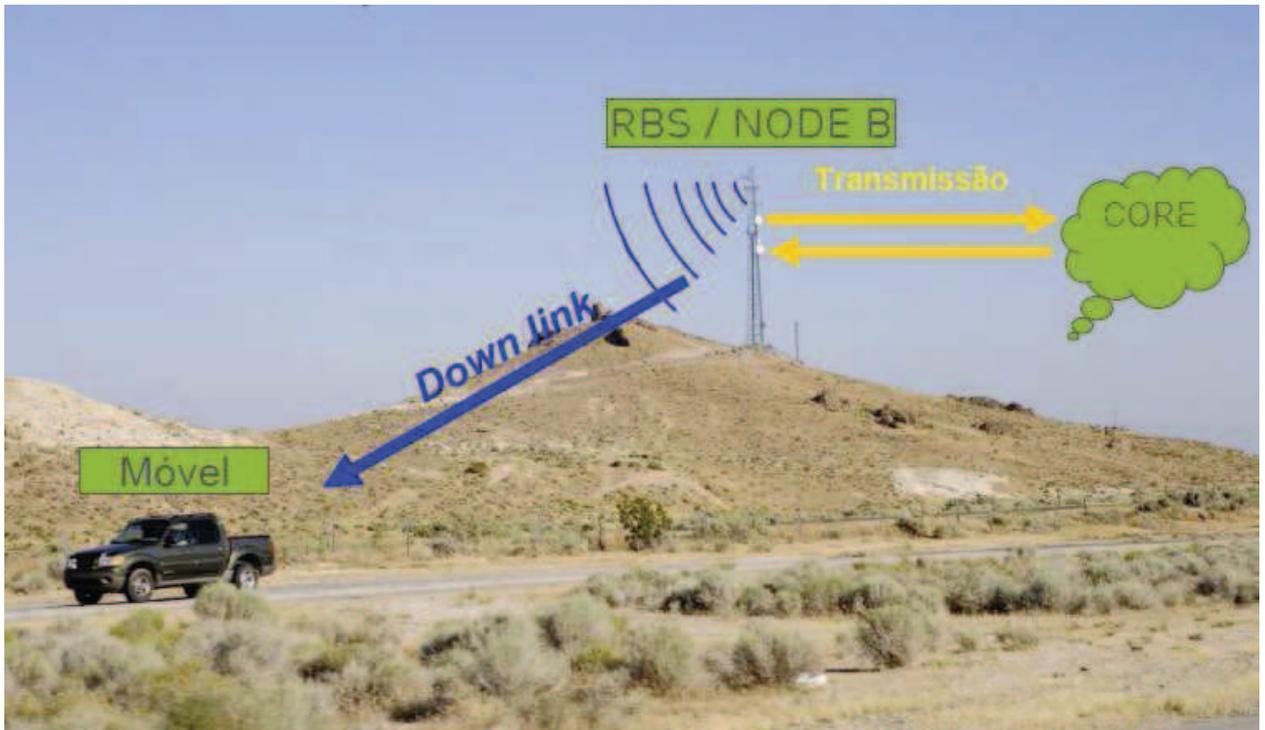


Figura 4.14: Representação na RBS, *Radio Base Station* (fonte: consulta a *extranet* da empresa, acesso em 2013).

É possível visualizar na Figura 4.14, a torre com as antenas irradiando os sinais e atendendo ao usuário final, indicado pelo carro em movimento na rodovia. Embaixo da torre, estão instaladas as RBSs e a nuvem indicando o Core, representando as centrais de comutação tanto de celulares como de telefonia fixa.

Temos três soluções principais de equipamentos para serem indicados ao cliente:

- A. Modelo 6201, *Macro Indoor* (dentro de abrigo):** esta solução foi projetada para ser instalada em ambientes dentro de abrigo, com ar condicionado, fontes de alimentação de corrente contínua, sendo um ambiente preparado para instalação de equipamentos, podendo ser *container* ou prédio de alvenaria (piso de concreto). Este modelo pode atender as tecnologias GSM e WCDMA, separadamente ou simultaneamente, quando o mesmo equipamento atende mais de uma tecnologia é chamado de híbrido.

Na Figura 4.15, é possível visualizar o equipamento, indicado por dois gabinetes. O primeiro deles, a esquerda são os bancos de baterias, geralmente são disponibilizados pelo cliente, mas é possível o fornecimento, dependendo da necessidade do cliente. O segundo gabinete é o equipamento em si, conectado com *feeders* (cabo desenvolvido para transmissão de sinais de Telecomunicações, conexão entre antena e equipamento) e os cabos de alimentação, onde os mesmos estão apoiados pelas calhas aéreas, sendo a infraestrutura do *site*. Observar que os gabinetes estão apoiados em piso de concreto, por ser um ambiente fechado, por exemplo, salas de comutação, centrais telefônicas, etc.



Figura 4.15: Representação das 6201, equipamento *Indoor* (fonte: consulta a *extranet* da empresa, acesso em 2013).

- B. Modelo 6102, *Macro Outdoor* (fora de abrigo):** esta solução foi projetada para ser instalado em ambientes externos, o gabinete possui seu próprio abrigo, com ar condicionado, conversor de energia AC para CC interno e banco de baterias com autonomia de até 4 horas. Este modelo também atende as tecnologias GSM e WCDMA e pode ser tratado como híbrido, caso seja solicitado pelo cliente.

Na Figura 4.16, é possível visualizar o equipamento no ambiente externo. A foto indica a instalação sobre piso de concreto (base de concreto), e os cabos estão apoiados em esteiramento no solo, atrás do gabinete. O gabinete está subdividido entre o banco de baterias que está alocado na parte inferior do equipamento, e o *hardware* está na parte superior.

Na Figura 4.17, está representado o gabinete aberto, é possível visualizar as placas de rádio e controle, a régua de conexão para a transmissão, conversores AC/DC, disjuntores e espaço livre caso o cliente necessite para instalação de outro tipo de equipamento, no geral de transmissão, mesmo sendo de outro fornecedor.



Figura 4.16: Representação da 6102 fechada, equipamento *Outdoor* (fonte: vistoria realizada em Campinas, SP em 2013).



Figura 4.17: Representação da 6102 aberta, equipamento *Outdoor* (fonte: vistoria realizada em Campinas-SP em 2013).

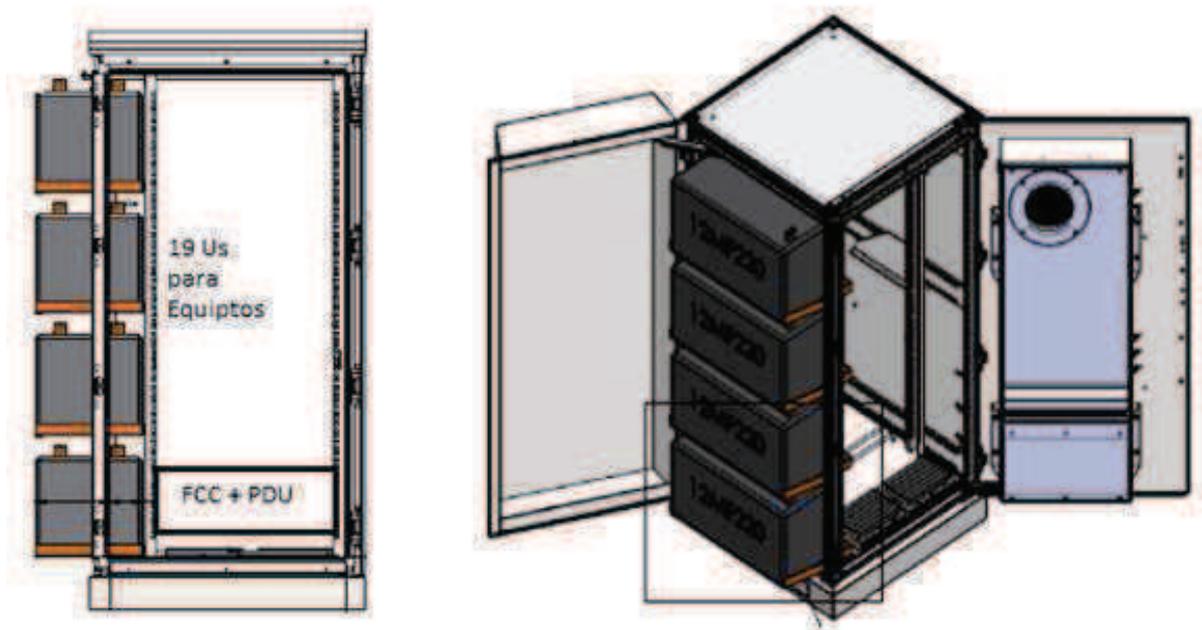


Figura 4.18: Gabinete de serviço (Eltek), utilizado para ambientes internos ou externos, (fonte: consulta a *extranet* da empresa fornecedora, acesso em 2013).

A. Modelo 6601, site *Outdoor* ou *Indoor* (MainRemote): esta solução difere das demais, pois é menor em tamanho, custos e capacidade, e pode ser abrigada por dois tipos de gabinetes fornecidos por outros fabricantes, são

eles: gabinete de serviço (chamado de Eltek) e gabinete de poste. Para o gabinete de serviço, é muito similar das soluções anteriores, pois possuem nas opções *Outdoor* e *Indoor*.

É possível visualizar na Figura 4.18, a estrutura do gabinete Eltek *Outdoor* – ambientes externos. Ele possui a capacidade de armazenar até 19 Us (*Height unit* – 1 U equivale a 44.45mm ou 1.75”), com os bancos de baterias, ar condicionado, a fonte de alimentação e conversores AC/DC na parte inferior do equipamento.

A diferença com os equipamentos *Indoor* – ambiente interno, o gabinete não possui o banco de baterias e o ar condicionado, tendo um custo menor, porém é necessário que o ambiente que ele for instalado possua as condições adequadas de temperatura, banco de baterias disponível, conversores AC/DC, local de fixação, ficando na responsabilidade do cliente de prover estas condições.

Existem vários modelos possíveis de serem utilizados junto ao cliente, porém é necessária a homologação do mesmo entre cliente e fornecedor, isto significa, se os produtos fazem atendem as normas de qualidade do cliente. Neste trabalho serão adotados dois modelos específicos: para *Outdoor* (gabinete de 19 Us) e para *Indoor* (rack 19’),

A solução de gabinete de poste é a mais interessante, pois são gabinetes instalados em postes, para situações como parques, praias e centros melhorando a cobertura em locais com cobertura prejudicada devido a áreas de sombra.

Com relação ao hardware, os rádios de transmissão dos sinais são separados dos demais itens, podendo ser instalados próximo das antenas, no solo ou em mini-postes. Quando instalados próximo ao solo, podem ser conectadas até a antena com fibra optica, enquanto se for nos mini-postes a conexão será via *feeder*.

Na Figura 4.19, é possível visualizar um exemplo de utilização de gabinete de poste com o equipamento 6601, na primeira imagem no canto esquerdo, visualizamos os dois gabinetes de poste (banco de baterias e o gabinete que aloca a 6601) em um poste de luz em uma praça, é visível que com a camuflagem adequada (pintura e posicionamentos dos gabinetes e cabos), torna-se um ambiente agradável, diminuindo a poluição visual.

Nas outras duas imagens no canto direito, temos o detalhe de como a 6601 está alocada nos gabinetes. Na primeira imagem do canto direito de cima para

baixo, é possível visualizar o equipamento, dentro do gabinete, sendo a placa de controle (DU – *Digital Unit*). Na segunda imagem é o gabinete alocando o banco de baterias, com autonomia de até 4 horas.



Figura 4.19: Gabinete de poste, utilizado para ambientes externos (fonte: vistoria realizada em Rio de Janeiro, RJ, em 2013).

Na Figura 4.20, demonstra o equipamento 6601 por completo, sendo a base a DU, a controladora do equipamento, o radio – chamada de RRU (*Radio Remote Unit*), em que geram o sinal na frequência de banda definida em projeto, e o RET (*Remote Electrical Tilt*), que ajusta o tilt elétrico, o ajuste na variação dos dipolos das antenas. A conexão entre a DU e RRU será via fibra óptica ou *feeder*, e entre a RRU e RET será via *jumper*s.

Determinado o equipamento que será entregue, é necessário conectá-lo à rede, sendo esta funcionalidade realizada pela transmissão, em que possui equipamentos de interface entre as BTS e o Core da rede. Esta interligação é

efetivada com cabos coaxiais, porém com duas diferentes especificações de impedância possíveis: 120 Ohms ou 75 Ohms, dependendo da região, ou com a utilização da Placa SIU, quando o equipamento de transmissão possui a característica de transmitir através da fibra óptica.

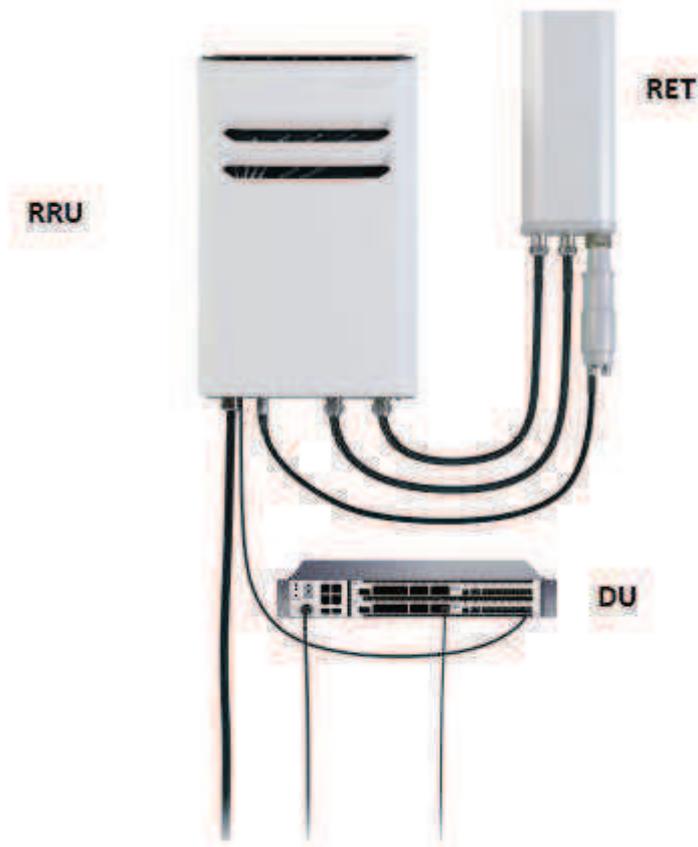


Figura 4.20: Representação da 6601 com as unidades de rádio a mostra (RU's) conectando na antena (fonte: consulta a *extranet* da empresa, acesso em 2013).

As BTSs são conectadas ao sistema irradiante, ilustrada na Figura 4.21. O sistema irradiante é a união entre a antena que irradia o sinal para o usuário final (celulares), os cabos de transmissão/recepção de sinais que conecta a BTS com a antena. Estes cabos de conexão são comumente chamados de *feeder*, ou também podem ser utilizadas fibras ópticas em seu lugar, dependendo da solução. Além disso, é possível ter outros elementos compondo este sistema, tais como amplificadores de sinais e cabos menores de conexão, chamados de *jumper*s.

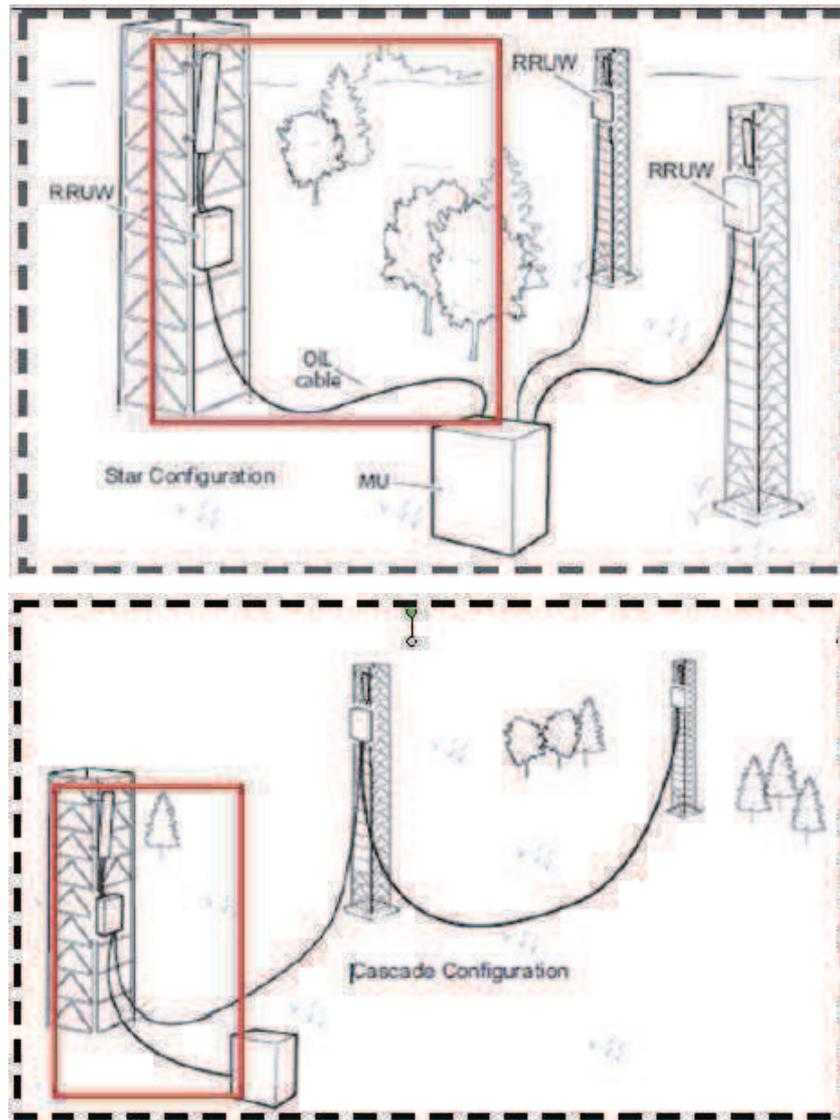


Figura 4.21: As partes destacadas são os sistemas irradiantes (fonte: *Workshop Engenharia*, 2011).

Com relação à infraestrutura prévia existente no *site*, existem duas opções de *sites*: Greenfield (GF) ou RoofTop (RT).

- *Sites* Greenfield (GF), são *sites* em campos abertos, terrenos que possuem torres ou postes para a instalação das antenas, sendo instaladas no topo da estrutura, ou nas laterais, quando a torre está sobrecarregada. Em todos os casos é necessário sempre indicar um tipo de suporte adequado para a instalação dessas antenas, não importando se estão no topo ou ao longo da torres/poste. Para este trabalho foi considerado que em todos os casos esta estrutura será fornecida pelo cliente.



Figura 4.22: Representação de uma torre (fonte: *Workshop Engenharia*, 2011).

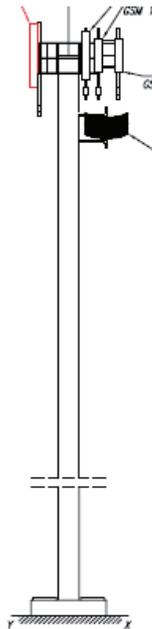


Figura 4.23: Representação de um poste (fonte: *Workshop Engenharia*, 2011).

Nas Figuras 4.22 e 4.23 estão representadas as duas principais estruturas GF. Na Figura 4.22 é a representação de uma torre, mais comumente encontrada em áreas com maior espaço, exemplo no interior, são pintadas de duas cores diferentes (branco e laranja) para poderem ser facilmente visualizadas, no topo da Figura é possível visualizar os suportes para instalar as antenas. Na Figura 4.23, é possível verificar a representação da torre, mais comumente utilizada em cidades, por necessitar de menor espaço para instalação. Estes postes podem ser de metal

ou de concreto, também é possível visualizar a representação dos suportes das antenas para instalação no topo da Figura. As torres podem chegar à altura de 120 metros, enquanto os postes até 60 metros.

- *Sites RoofTop (RT)*, são *sites* instalados no topo de prédios, segue abaixo um exemplo:



Figura 4.24: Exemplo de instalação em *site* RT (fonte: vistoria realizada em São Paulo – SP, 2013).

Conforme indicado na Figura 4.24, é possível visualizar que os equipamentos ficam localizados geralmente no topo dos prédios, com o apoio de uma estrutura metálica ou também é possível com base de concreto, porém depende da estrutura civil do prédio, se está em condições de suportar o peso necessário do equipamento mais a adequação de infra. Geralmente é solicitado o laudo estrutural para ser possível definir a melhor solução de instalação dos equipamentos sem prejudicar a estrutura do prédio. São soluções muito indicadas para os grandes centros, que sofre com a falta de espaço para instalação de uma torre ou poste e dependendo da instalação, se for feita de forma organizada e com camuflagem, não gera poluição visual.

4.5. Modelagem da PFS

Em um primeiro momento, o processo a ser modelado deve ser visualizado de forma macro, definindo o sequenciamento das atividades. Após este sequenciamento será realizado o refinamento sucessivo das atividades com as RdP. Vale salientar que as macro-atividades indicadas na PFS, neste trabalho, serão os “atos de se definir” as condições e funções que melhor atendem ao cliente e levam para a solução do equipamento, especificando a LM mais adequada para cada local de instalação.

Nas Figuras a seguir, será possível visualizar as macro-atividades definidas no PFS do processo de especificação da LM.

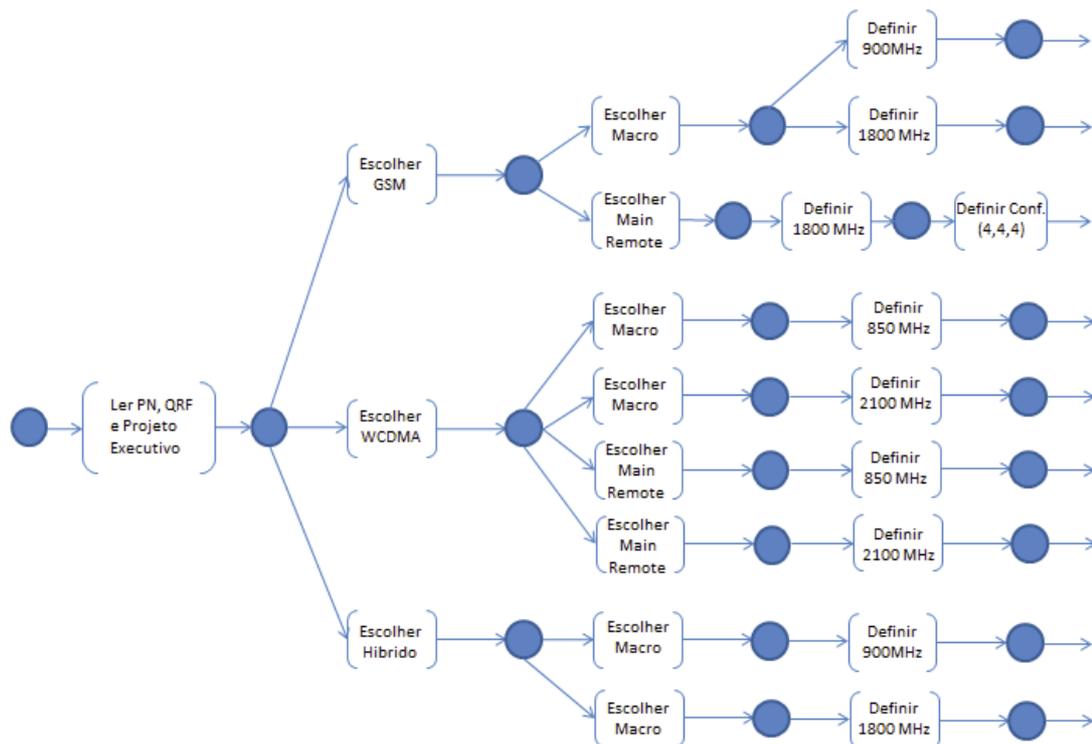


Figura 4.25: Processo de execução de LM – PFS, início.

A Figura 4.25 apresenta as macro-atividades iniciais do processo de elaboração de uma LM. A primeira macro-atividade corresponde a “Ler PN, QRF e Projeto Executivo”. Esta atividade é muito interessante, pois se aplica a grande parte do conhecimento esperado do profissional que irá elaborar esta LM. É uma análise das três documentações indicadas na atividade: PN significa Plano Nominal sendo o

contrato entre cliente e fornecedor para definir as configurações esperadas pelo cliente, modelo do equipamento e a quantidade de *sites* que serão instalados, QRF é o documento que define a quantidade de portadoras para WCDMA ou a quantidade de TRX do GSM, altura das antenas, modelos das antenas e solução do sistema irradiante, em casos dos *sites* serem com solução *Indoor* e o Projeto executivo, que define a infraestrutura. Todas estas documentações são elaboradas por outros fornecedores da operadora, tendo como responsabilidade nos prover os mesmos.

A atividade *Macro* é a ação de ler e analisar a documentação, sendo de suma importância para estabelecer as demais atividades definidas na sequência. A documentação fornecida pelo cliente deve ser conferida para se garantir sua consistência. No caso de existirem divergências, é necessária a confirmação das informações junto ao cliente. No caso de erros devido à inconsistência das informações poderão ocorrer problemas de instalação ou aceitação da proposta de solução pelo cliente em um estágio final do processo de instalação do equipamento, causando retrabalhos e custos adicionais não previstos.

As documentações são recebidas no formato eletrônico: planilha eletrônica (*Microsoft Excel*, 2010) ou *AutoCad Application* (SYSTEM, 2007), sendo as verificações realizadas manualmente, com a análise do profissional antes treinado pelo fornecedor. Deve ser realizada por profissional previamente capacitado nas tecnologias e equipamentos, assim como na leitura da documentação do cliente e ainda possuir conhecimentos básicos de infraestrutura.

É possível verificar que o distribuidor indica três trajetórias diferentes possíveis de serem seguidas, isto significa três tecnologias diferentes: GSM, WCDMA e híbrido. Estes serão os três principais ramos da PFS a serem modelados. Em Telecomunicações a tecnologia de transmissão/recepção do sinal (GSM/WCDMA/híbrido) define 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 utilizadas as duas tecnologias em um mesmo gabinete.

Na PFS, as tecnologias GSM e WCDMA são duas macro atividades: Escolher *Macro* e Escolher *MainRemote*, estas duas atividades definem qual será o tipo de gabinete e a solução de gabinete mais adequada para este equipamento,

sendo avaliado o custo deste *hardware*, versus a sua necessidade. A solução *Macro* é uma solução completa, que possui o *hardware*, com a quantidade de canais de transmissão solicitados pelo cliente, o gabinete e o banco de baterias, com as opções de instalação *Outdoor* e *Indoor*. Já na solução *MainRemote*, os equipamentos são menores em volume, com menor quantidade de canais disponíveis para futuras expansões e sem a solução do gabinete/energia, apenas com o *hardware*. O abrigo da *MainRemote* é variável, tendo tipos diversos de soluções e no geral de outros fornecedores, sendo de custo inferior aos demais tipos de solução. Para os híbridos existe apenas a solução *Macro*, pois por possuir um custo mais elevado, o cliente aplica esta solução apenas para *sites* com necessidade de maior quantidade de canais de transmissão e com o objetivo de otimizar espaço físico. Portanto, é possível ter uma solução de *MainRemote* para *sites* híbridos, porém nunca foi utilizado para nenhum cliente, não será modelado neste trabalho.

A próxima macro-atividade é a definição das frequências dos rádios que serão utilizados nos equipamentos definidos anteriormente. É possível visualizar na Figura 4.25, que o GSM possui as frequências de 900 e 1800Mhz para o gabinete *Macro* e apenas 1800Mhz para *MainRemote*. O WCDMA, possui 850 e 2100Mhz para ambas as soluções e o híbrido possui a primeira definição da frequência de 1800Mhz (GSM) e em um próximo momento da modelagem será visualizada a definição do WCDMA com as frequências de 850 e 2100 Mhz.

Nas Figuras 4.26, 4.27, 4.28 e 4.29 são visualizadas as definições das macro-atividades para um equipamento da tecnologia GSM:

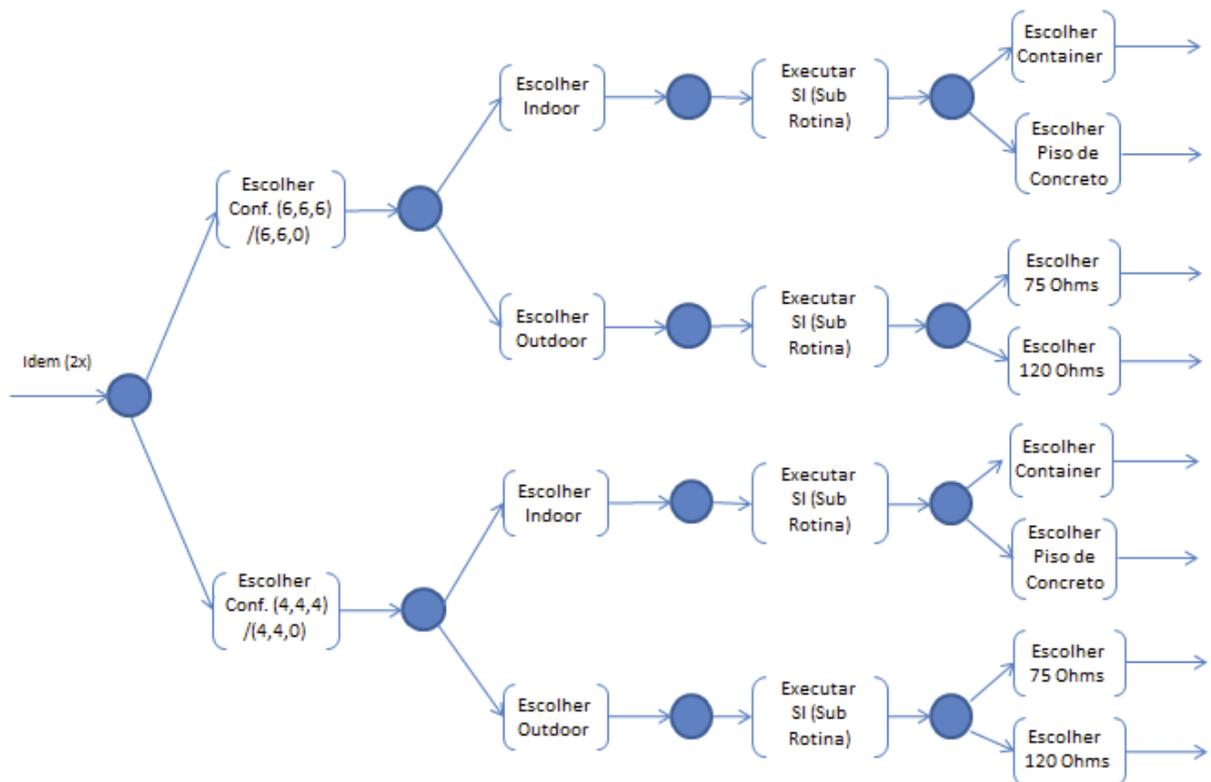


Figura 4.26: Continuação da PFS – GSM – Macro_Parte 1.

A Figura 4.26 apresenta a definição da quantidade de canais de transmissão que serão utilizados para esta solução. São duas opções possíveis $(6,6,6) / (6,6,0)$ ou $(4,4,4) / (4,4,0)$, para uma solução de gabinete *Macro*. É possível utilizar dois setores para *sites* que estão localizados em rodovias, por exemplo, que precisam do sinal em apenas duas direções, e o mais comumente utilizado com 3 setores, que emite/recebe sinais em 360° . A quantidade de canais de transmissão, também define a quantidade de gabinetes e de *hardware* a ser utilizado. Este ramo do PFS repete-se duas vezes na PFS completa, conforme a sequência do ramo de GSM da Figura 4.26, pois existem dois ramos de frequências diferentes e necessitam das mesmas definições no sequenciamento das decisões.

É possível ter as opções de *Indoor* e *Outdoor*, como citado no capítulo anterior, dependendo do local de instalação do *site*, é definido se terá ou não abrigo. É uma definição muito importante com relação aos itens de materiais de instalação, pois quando é definida a solução *Outdoor*, existem normas técnicas de especificação de cabos especiais para suportar o desgaste ao tempo sem afetar a qualidade dos sinais. Além disso, os *sites Indoor* possuem materiais de instalação

para conectar os equipamentos com a alimentação DC e banco de baterias que para soluções *Outdoor* são acoplados no gabinete. Estas conexões são retiradas da estrutura fornecida no abrigo, que geralmente são os *containers* ou salas de equipamentos.

Na macro-atividade “Executar SI – Sub Rotina”, define-se as características do sistema que irradia o sinal (sistema irradiante), do qual faz parte o *feeder* (cabo desenvolvido para transmissão de sinais de Telecomunicações, conexão entre antena e equipamento) e antena. Como as especificações que envolvem esta macro-atividade é comum para todas as tecnologias, verificou-se a possibilidade de se modelar como uma subrotina da PFS principal, portanto é modelada separadamente e complementando a ferramenta principal.

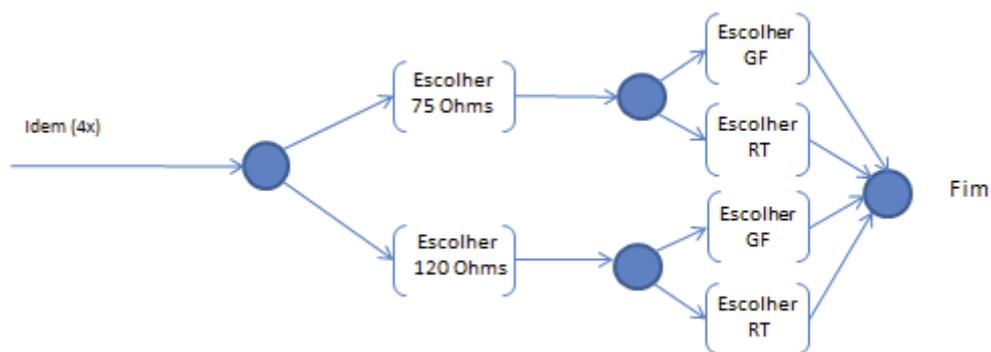


Figura 4.27: Continuação da PFS – GSM – Macro_Parte2.

Após a escolha do *site* para *Outdoor*, conforme Figura 4.26, será definido qual tipo de transmissão que será utilizado, impedância de 75 Ohms ou 120 Ohms, indicada na Figura 4.27. A macro-atividade da Figura 4.27 é representada apenas em uma única vez, porém na PFS completa repete-se quatro vezes, uma para cada ramo de opção da Figura 4.26. A transmissão são os cabos e conectores que irão conectar este equipamento na rede existente, sem estes materiais o equipamento não teria comunicação com os outros elementos de rede, tornando-se inoperante. É possível visualizar na Figura 4.27, que após a definição da transmissão, é finalizado o ramo da PFS com a definição se o *site* é GF (*Greenfield – ambiente aberto torre/poste*) ou RF (*Roof-Top – em cima de prédios*). Esta definição é importante, pois temos itens de materiais totalmente diferentes para a fixação dos gabinetes, devido ao ambiente no qual ele será instalado.

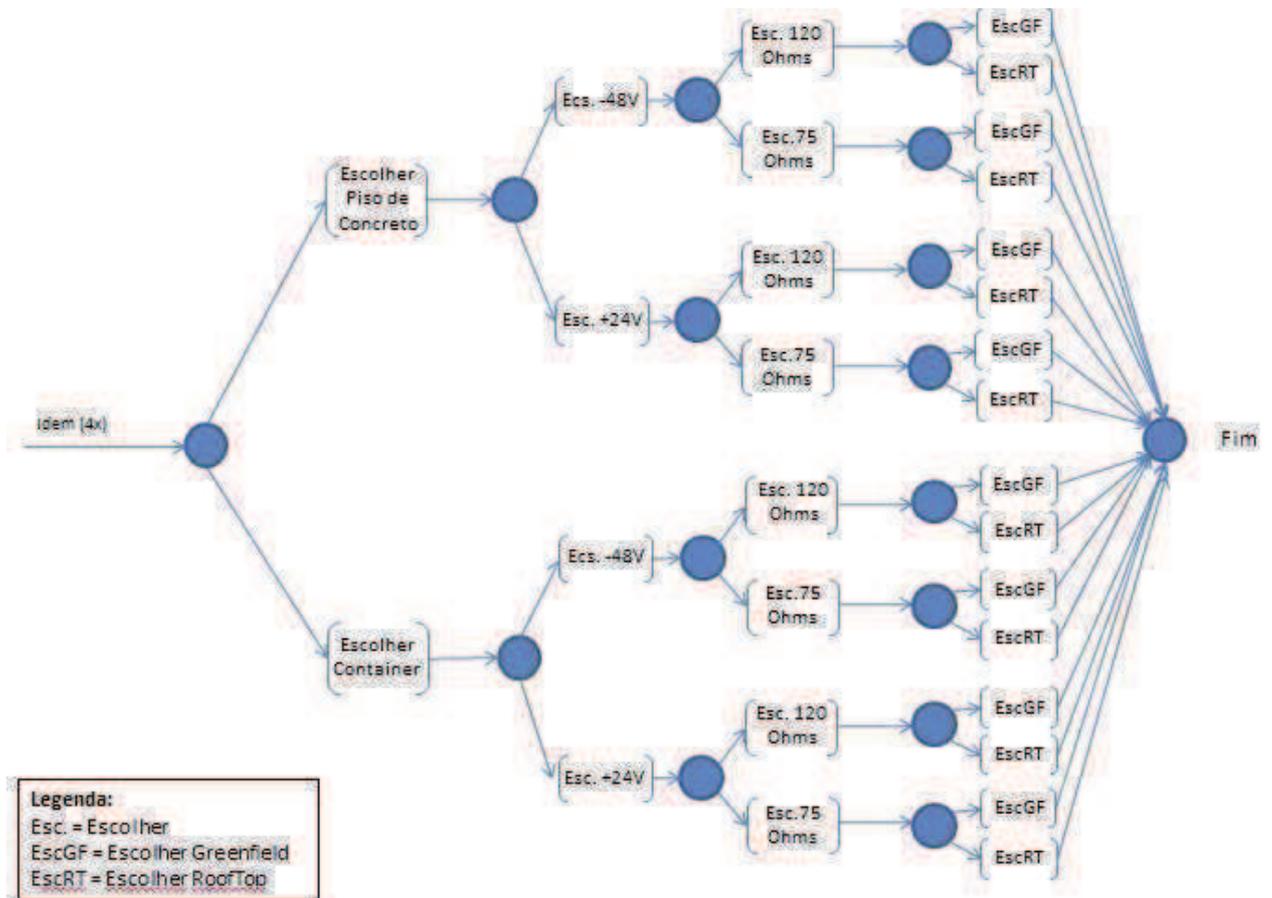


Figura 4.28: Continuação da PFS – GSM – Macro_Parte3

Na Figura 4.28, observa-se a continuação da PFS para *sites Indoor*. As macro-atividades da Figura 4.28 são representadas apenas em uma única vez, porém na PFS completa repete-se quatro vezes, uma para cada ramo de opção *Indoor* da Figura 4.26. Como este tipo de solução depende de outros itens fornecidos pelo cliente, uma vez que o ambiente onde o equipamento será instalado já foi pré-definido, é necessário à definição de itens específicos para ambientes *Indoor* como, por exemplo, se o ambiente a ser instalado será em piso de concreto ou container. Em seguida, é possível definir a alimentação do gabinete, se será de +24V ou -48V, esta definição interfere nas bitolas dos cabos de energia e portanto nos acabamentos. E finalizando com as definições da transmissão e infra-estrutura necessárias para a solução, igual ao citado anteriormente para Figura 4.27.

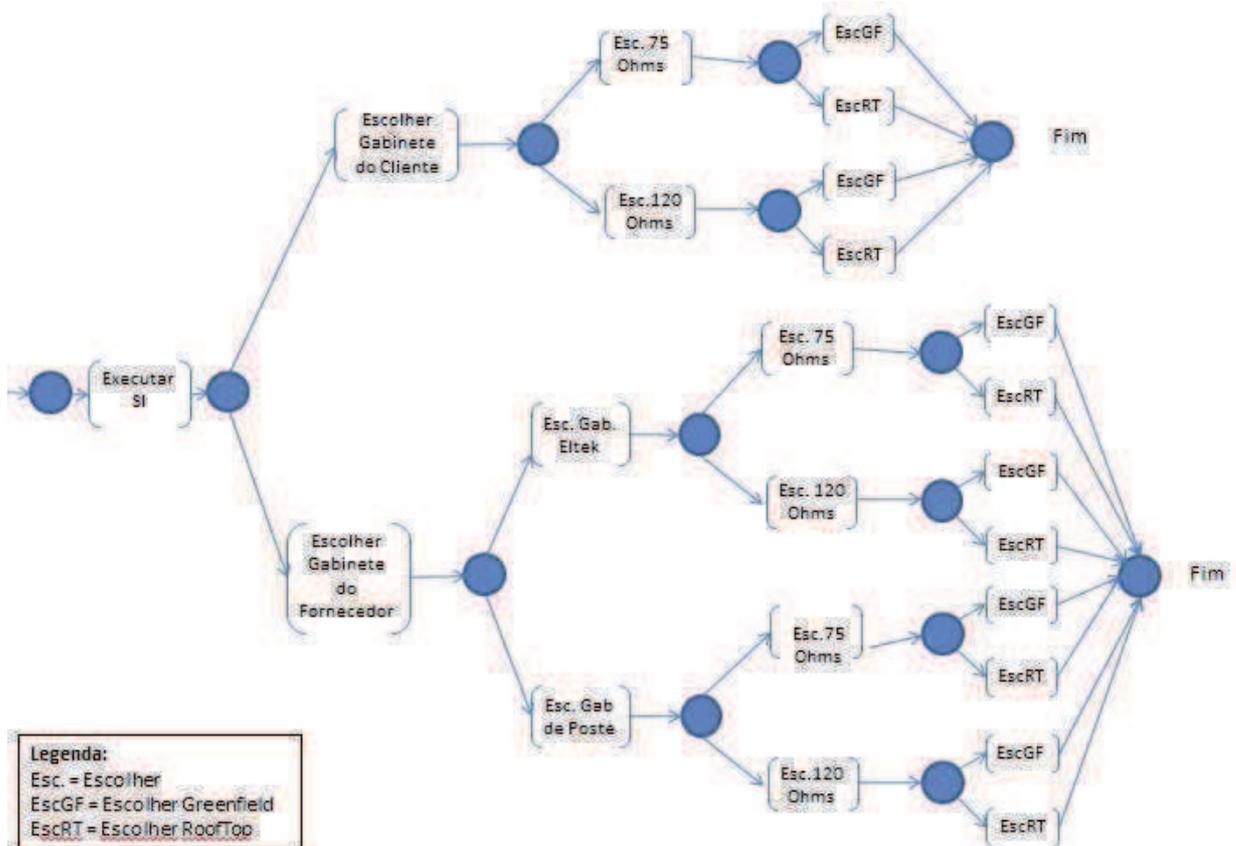


Figura 4.29: Continuação da PFS – GSM – *MainRemote*.

Na Figura 4.29 é demonstrada a modelagem para a tecnologia GSM com gabinete *MainRemote*. Na Figura 4.26 foi definida a frequência de utilização (1800 Mhz) e quantidade de canais de transmissão (4,4,4) que são a única opção. Porém na Figura 4.29 é definido se o gabinete será fornecido pelo cliente ou pelo fornecedor. Se fornecido pelo cliente, será necessário especificar apenas alguns itens de acabamento e será finalizada a modelagem com a definição da transmissão e infra-estrutura. Se for de fornecimento do fornecedor, será necessário decidir entre dois tipos de gabinetes: gabinete de serviço (Eltek) ou gabinete tipo poste, finalizando com a definição da transmissão e infra-estrutura.

As Figuras 4.30 a 4.34 apresentam as modelagens através da PFS das macro-atividades da tecnologia WCDMA. Na Figura 4.30 é possível visualizar a continuação na PFS da Figura 4.26, em que foram definidas quais as frequências de banda que serão ampliados nesta expansão, para uma solução *Macro*, da mesma forma que ocorre para na tecnologia GSM, mas para quantidade de canais de transmissão. Em seguida a definição se o *site* será *Indoor* ou *Outdoor*. Continuando na sequência das macro-atividades, terá a definição do SI – Sistema Irradiante em

uma subrotina, e a definição de qual tipo de transmissão será utilizado no caso do *Outdoor*. Para o *Indoor*, será a definição se de qual tipo de ambiente que será instalado o gabinete. Repetindo as mesmas definições da configuração *Macro* na tecnologia GSM.

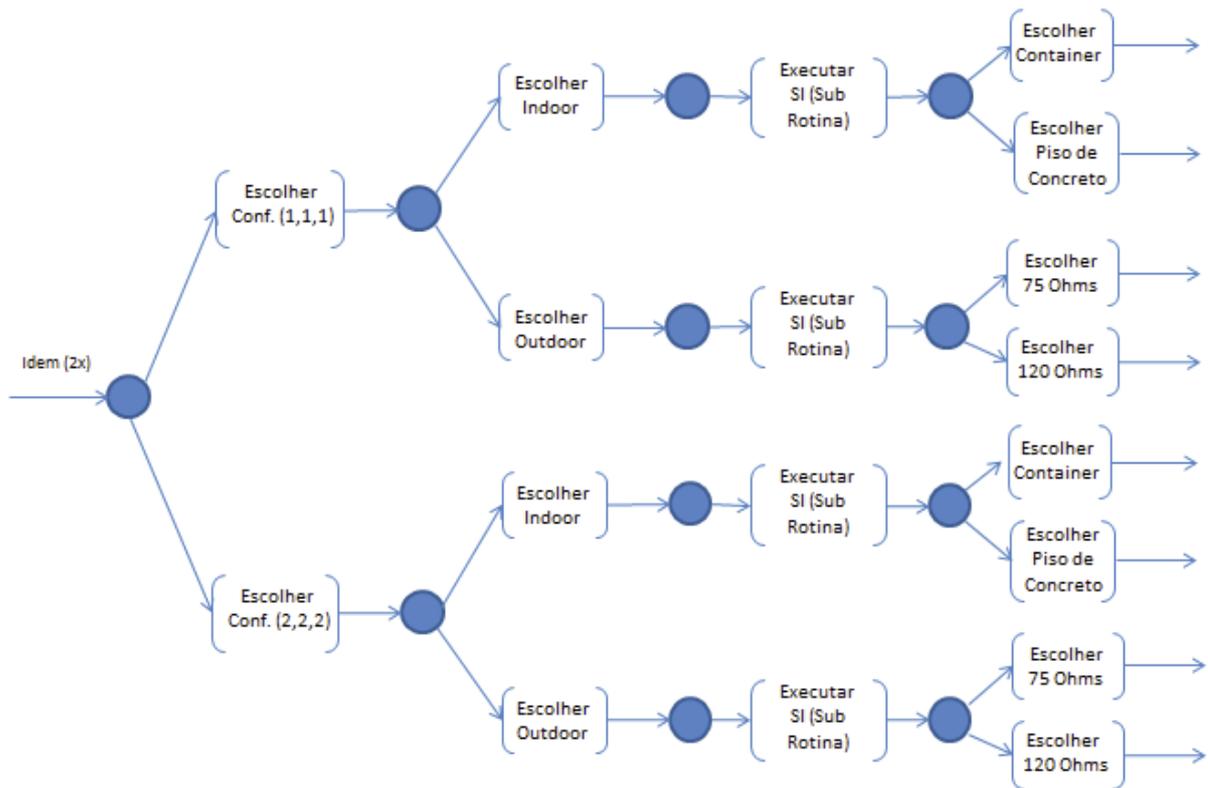


Figura 4.30: Continuação da PFS – WCDMA – *Macro_Part 1*

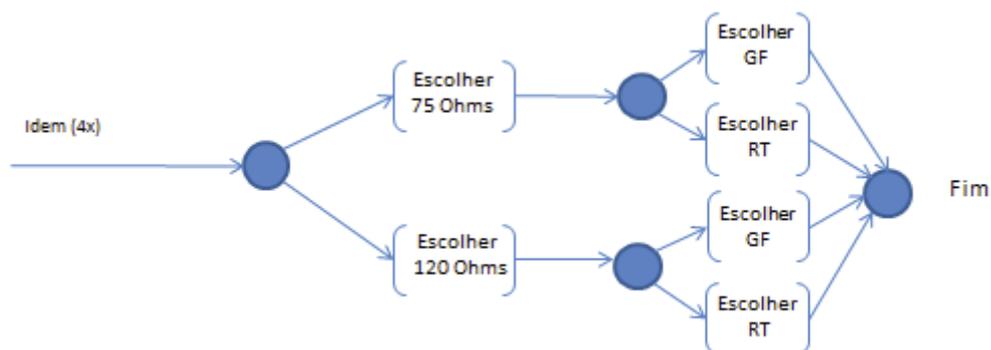


Figura 4.31: Continuação da PFS – WCDMA – *Macro_Part 2*

A Figura 4.31 apresenta a continuação da modelagem da Figura 4.30, para a definição de *Outdoor*. Define-se a transmissão de 75 ou 120 Ohms, e se o local de instalação será GF ou RT. Portanto este ramo, da Figura 4.31, repete-se quatro vezes, dando sequência aos ramos da Figura 4.30 na macro-atividade *Outdoor*.

Lembrando que os ramos da Figura 4.30 repetem-se duas vezes, com o mesmo padrão dos ramos de definições/atividades do GSM.

Na Figura 4.32, apresenta as definições/atividades para o sistema WCDMA com equipamento *Indoor*. Da mesma maneira que ocorre nos sistemas GSM, existem as definições de como serão instalados estes equipamentos, neste caso se será em *container* ou piso de concreto, e em seguida as definições de energização dos gabinetes, transmissão e a infra do local de instalação.

Vale salientar que a semelhança entre as modelagens ocorre por ser o mesmo tipo de solução de gabinete, neste caso a *Macro*, porém por serem tecnologias diferentes e principalmente, as frequências dos rádios dos *hardwares* inseridos nestes gabinetes serem diferentes, faz com que seja necessário a modelagem por tecnologia, pois existe diferenças nos tipos de materiais a serem especificados.

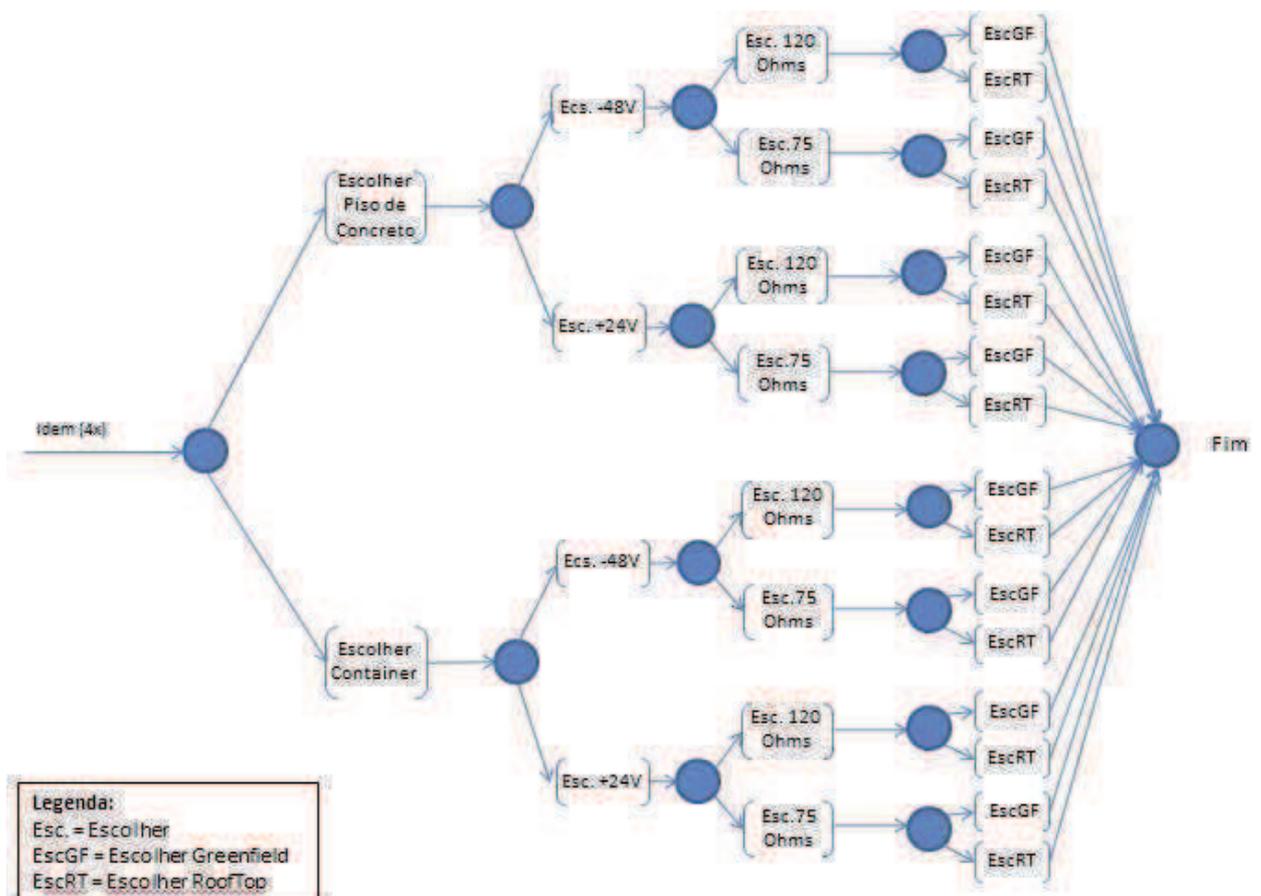


Figura 4.32: Continuação da PFS – WCDMA – *Macro_Parte3*

Entre as tecnologias WCDMA e GSM, as maiores diferenças nas especificações de materiais e portanto nas modelagens está na solução

MainRemote, cuja PFS é possível visualizar nas Figuras 4.33 e 4.34. A Figura 4.33 é a continuação da modelagem da Figura 4.30 para solução WCDMA – *MainRemote*, definindo-se as frequências que serão fornecidas ao cliente. Na Figura 4.30, após a sequência de macro-atividades: Escolher WCDMA – Escolher *MainRemote* – Definir 850Mhz ou 2100Mhz, define-se duas sequências possíveis com o ramo indicado na Figura 4.33, após cada frequência definida, repetindo-se na PFS duas vezes.

Continuando na Figura 4.33, após a definição das frequências, existe a subrotina de sistema irradiante, sendo esta atividade executada a parte, em sequência será definido qual tipo de gabinete será utilizado. No caso da opção da macro-atividade cliente, o gabinete estará disponível no local de instalação, em perfeitas condições de funcionamento, garantido pelo cliente. Por isso, será uma quantidade menor de materiais do que no caso pelo fornecedor, pois será necessário apenas adaptar o equipamento do fornecedor dentro de um gabinete já fornecido pelo cliente e instalado. Assim, finaliza-se este ramo com os materiais de transmissão e o tipo de infra estrutura do local de instalação.

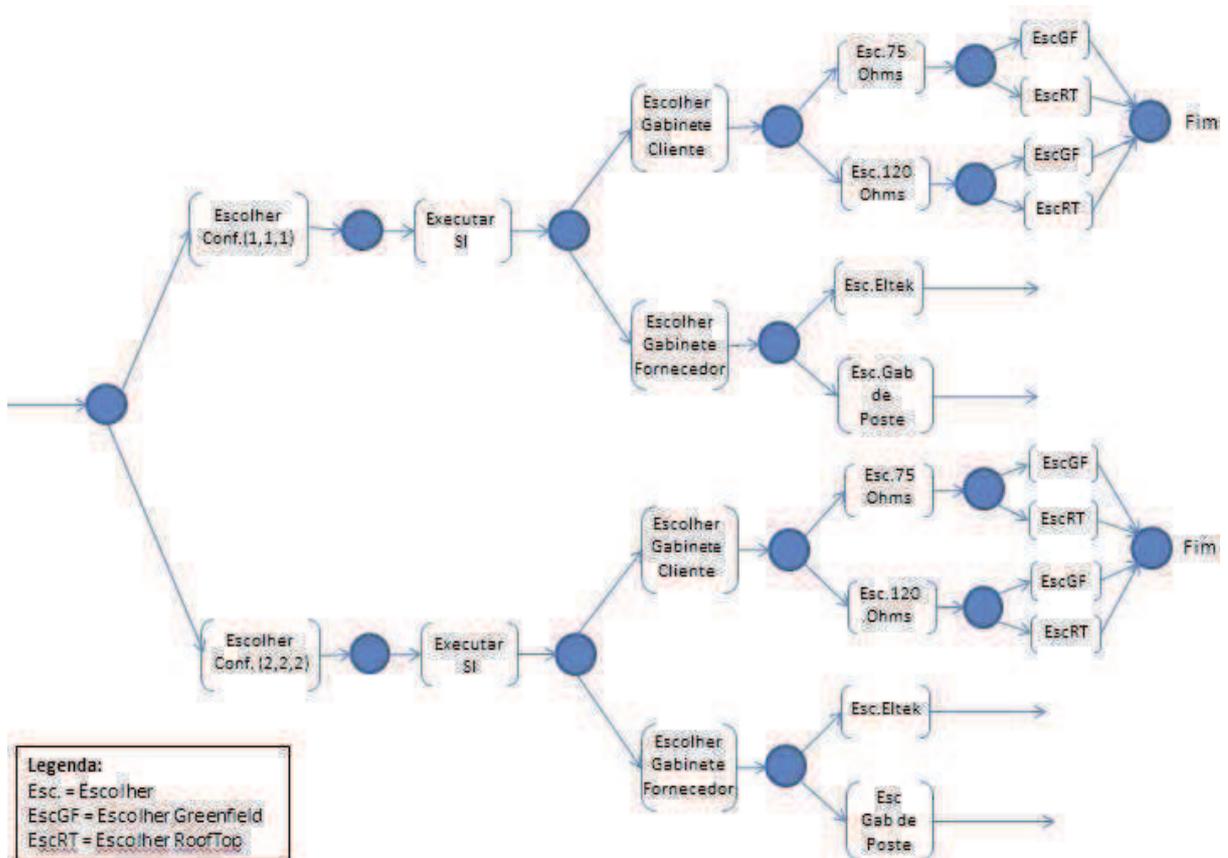


Figura 4.33: Continuação da PFS – WCDMA – *MainRemote*_Parte 1

Na Figura 4.34 está sendo exposto a continuação do ramos da Figura de 4.33, da opção gabinete do fornecedor. Isso significa que o fornecedor terá que fornecer uma solução de gabinete para o cliente. Neste trabalho, foi definido dois tipos: Eltek e tipo poste, finalizando com a transmissão e tipo de infra estrutura do local de instalação. Da mesma maneira que as demais Figuras, esta está representada apenas uma vez, porém repete-se duas vezes na PFS completa. Dando continuidade das quatro opções da Figura 4.33, das macro-atividades Esc.Eltek e Esc Gab de Poste (repete-se duas cada opção).

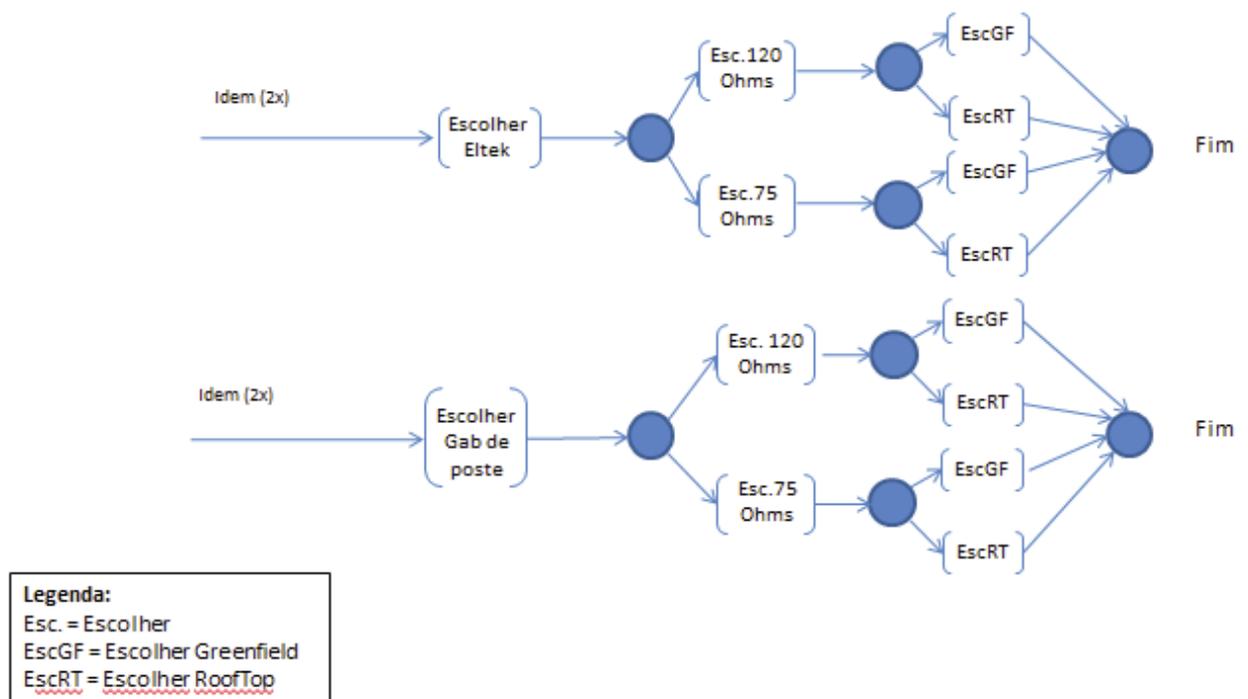


Figura 4.34: Continuação da PFS – WCDMA – MainRemote_Parte 2

A modelagem dos sistemas híbridos é um caso especial pois possui as duas tecnologias em um mesmo gabinete, compartilhando o mesmo espaço físico no *site*. Por ser híbrido será necessário dois níveis de decisão para a configuração final do *site*, pois primeiro será definido a quantidade de canais de transmissão para GSM e depois as frequências do WCDMA. Isto está exposto nas Figuras 4.35 e 4.37.

Na Figura 4.35, é possível visualizar as definições das duas tecnologias, e as suas configurações, isso significa que é possível ter seis tipos diferentes de configurações, entre GSM e WCDMA em um mesmo gabinete. Nesta Figura foi definida a opção de *Indoor* e em sequência o sistema irradiante.

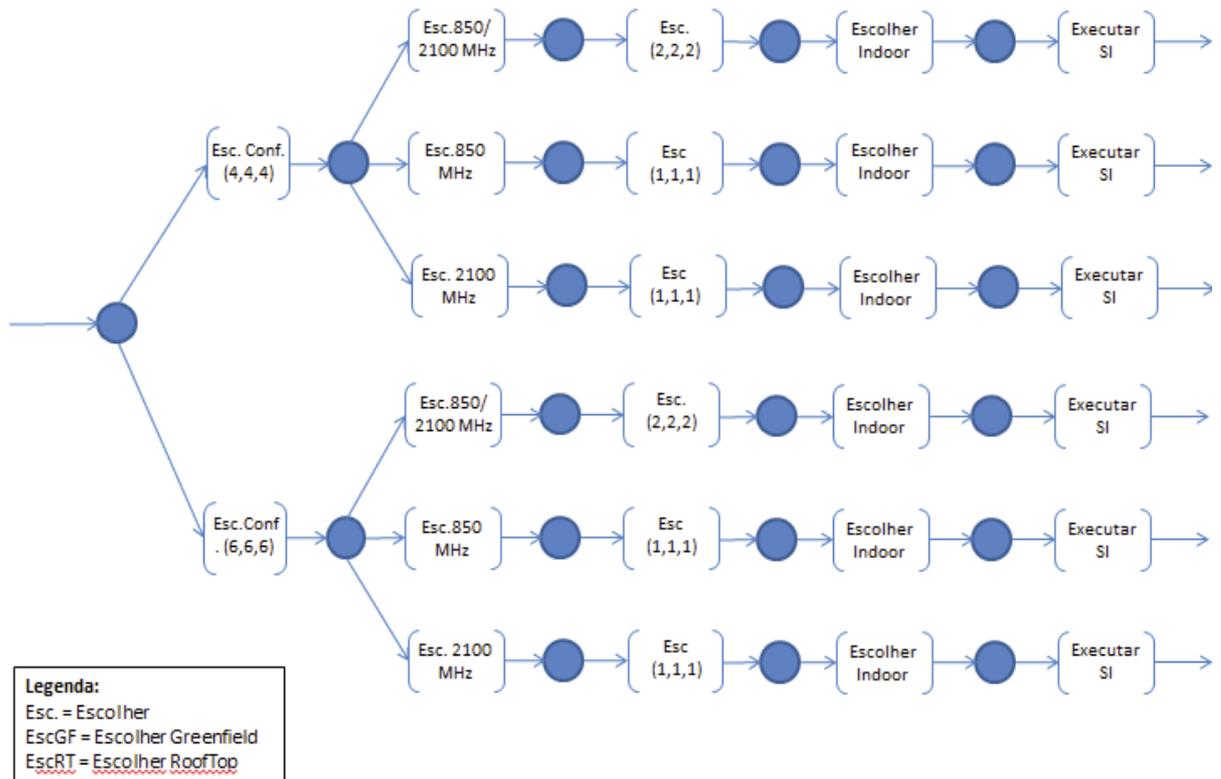


Figura 4.35: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 1

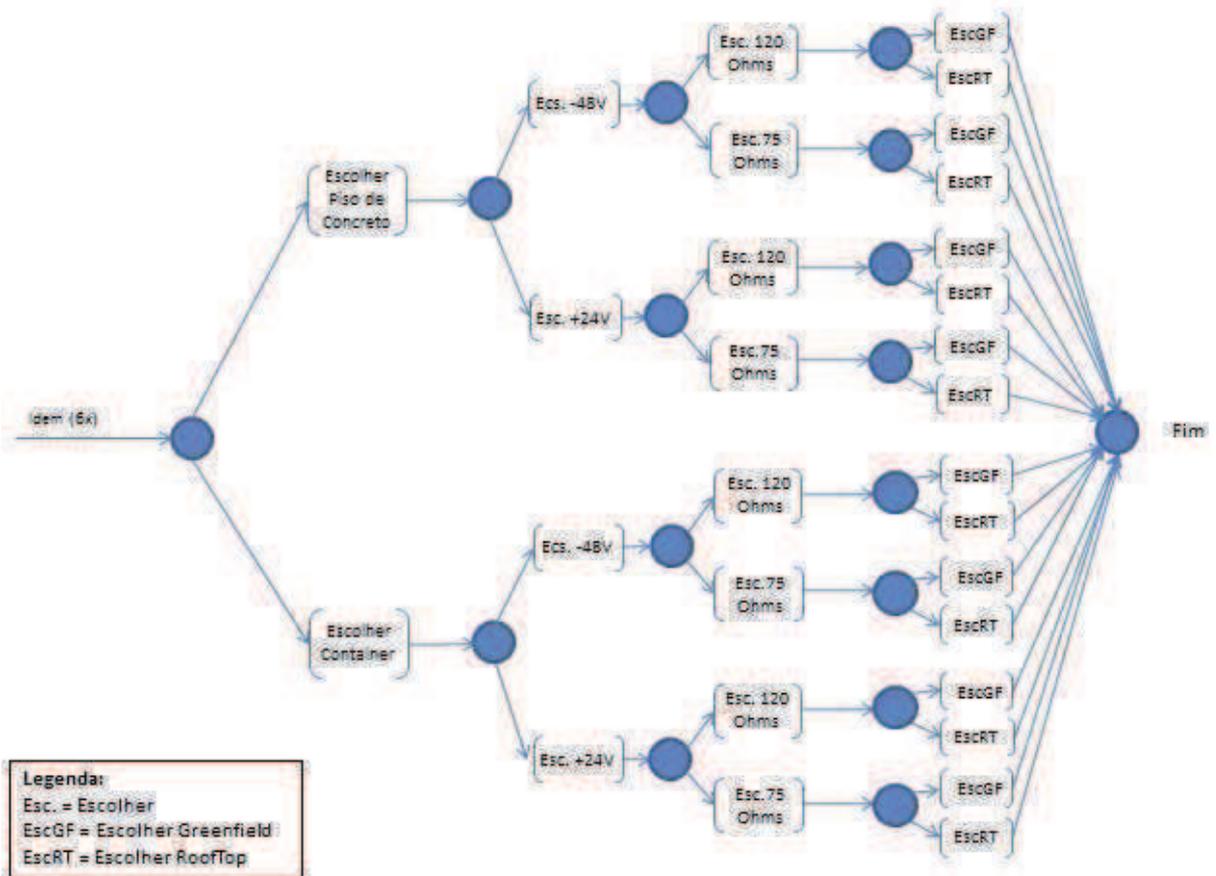


Figura 4.36: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 2

Na Figura 4.36, finaliza-se as atividades dos ramos da Figura 4.35 com as definições das condições dos locais de instalação, se será piso de concreto ou container, a alimentação do gabinete, transmissão e infra estrutura. A macro-atividade desta Figura é representada apenas uma vez no texto, porém na PFS completa, repete-se seis vezes, de acordo com os seis ramos da Figura 4.35.

A Figura 4.37, apresenta as mesmas definições do híbrido *Indoor*, porém com materiais *Outdoor*.

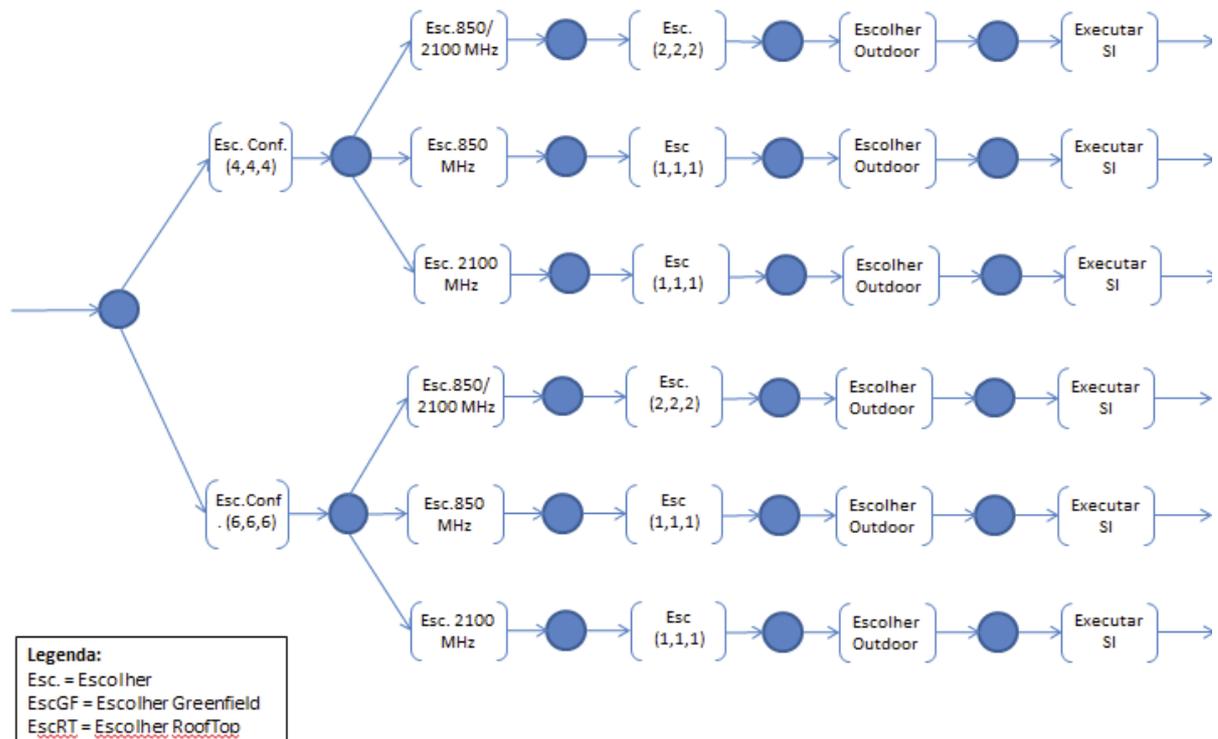


Figura 4.37: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 3

E, finalizando na Figura 4.38, repete-se as macro-atividades seis vezes representadas nesta Figura, dando continuidade a Figura 4.37, com a definição de transmissão e tipo de infra-estrutura.

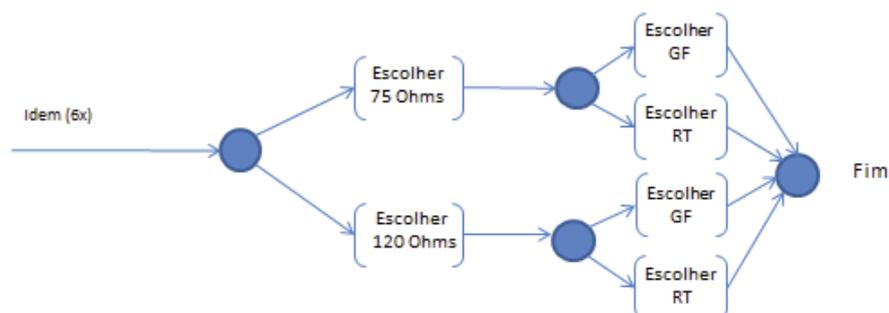


Figura 4.38: Continuação da PFS – Híbrido – Parte 4

Seguindo com as análises, é possível verificar que os demais itens são muito similares as tecnologias GSM e WCDMA para solução *Macro*. Nas Figuras 4.35 e 4.37 a diferença se dá entre se o *site* será *Indoor* ou *Outdoor*. Na Figura 4.36 é apresentado a sequência de atividades para os *sites Indoor*, e na Figura 4.38 é apresentado a sequência de atividades para os *sites Outdoor*. Sempre lembrando que as atividades são iguais, porém os itens de materiais são diferentes, principalmente para a tecnologia híbrida.

4.6. Modelos em RdP (Redes de Petri)

Nesta etapa da modelagem definiu-se o passo a passo de todos os itens da LM necessários para instalação e em qual momento e características do *site* e equipamento se faz necessário. A partir das macro-atividades da ferramenta PFS, realiza-se o mapeamento para RdP mediante emprego da sistemática PFS/RdP para as Redes de *Petri*. Vale salientar que a atividade *Macro* definida em PFS, se transforma em várias atividades dentro das Redes de *Petri*, e estas atividades serão definições para a especificação de um determinado material devido as características do local de instalação. Foi utilizado o software *HPSim Application* (version 1.0.0.2, 2003, Company Henryk Anschuetz) para a modelagem em Redes de *Petri*.



Figura 4.39: Detalhe da atividade na PFS “Ler PN, QRF e Projeto Executivo”.

A primeira macro-atividade definida na Figura 4.39 “Ler QRF, PN e Projeto Executivo”, foi detalhada em RdPs da maneira mostrada na Figura 4.40:

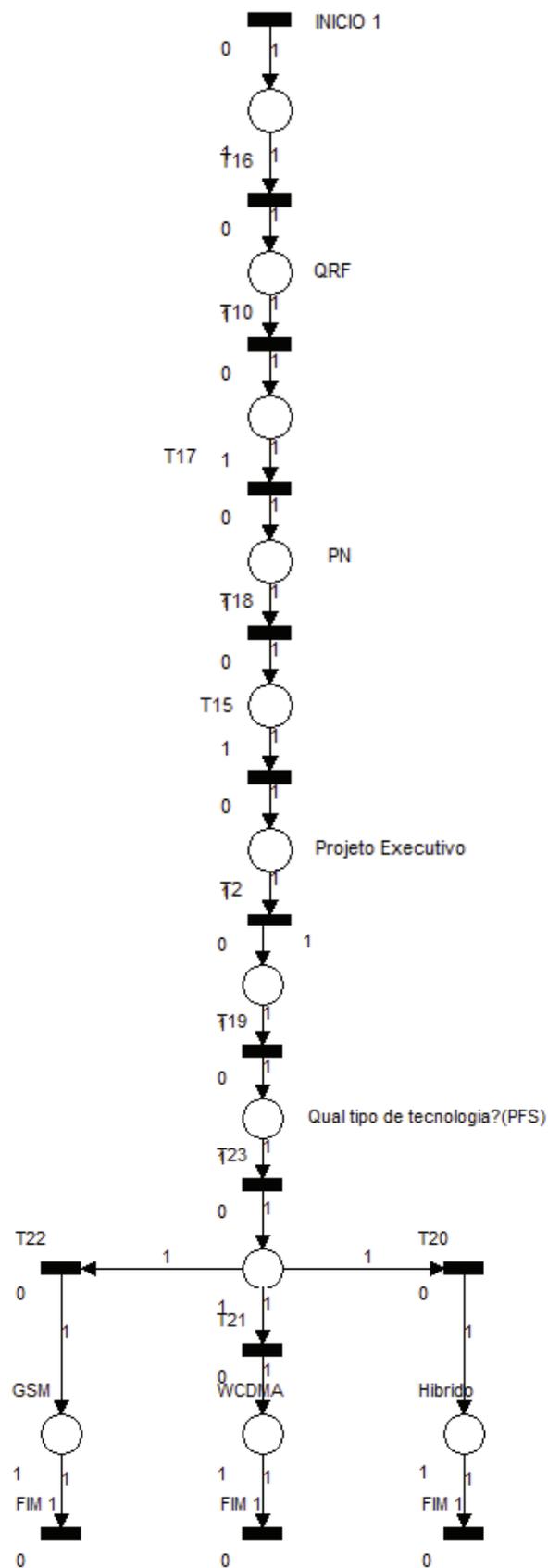


Figura 4.40: Verificação da configuração dos documentos QRF/PN/Projeto Executivo.

É possível observar na Figura 4.40, a estrutura de Redes de *Petri* lugar-arco-transição ou condição-arco-evento. As condições, indicadas graficamente pelos círculos, sendo a atividade que deve ser executada após o evento, representada graficamente pelas barras. A atividade a ser executada pode ser a escolha de uma característica do *site*, por exemplo, qual o tipo de gabinete que será utilizado: eltek ou tipo poste, ou pode ser uma definição da solução, por exemplo na primeira macro-atividade da PFS – “Ler PN, QRF e projeto executivo”. Cada decisão de cada condição, vincula materiais necessários para esta decisão, indicados no banco de dados da ferramenta.

Para esta primeira rede de *Petri*, Figura 4.40, representa o ato de analisar a documentação indicada em cada condição. O arco direciona para a próxima atividade a ser executada, sendo que o evento é a ação de executar a atividade definida na condição anterior, e assim sucessivamente. A rede foi iniciada com o evento “Início 1”, para as atividades/condição “QRF”, “PN” e “Projeto Executivo”, ou seja, a definição da atividade de analisar os documentos QRF/PN/Projeto Executivo do cliente, e em seguida o evento, que sugere a ação de ter analisado os documentos. Portanto, após a ação de análise destas três atividades será possível definir as atividades seguintes.

Continuando na mesma Figura 4.40, para a condição “Qual o tipo de tecnologia?”, neste caso é uma atividade de decisão, em que no próximo evento se faz necessário a decisão entre GSM, WCDMA ou híbrido. As marcas são o momento da decisão/ação de se executar as atividades definidas nas condições, possui caminhos diferentes que dependendo da decisão do profissional que está manuseando a ferramenta será diferente o resultado final do conteúdo da LM.

Importante atentar que, a sequência definida de leitura de documentos e decisões das informações necessárias para elaboração da LM, possibilita que o profissional seja orientado intuitivamente para as decisões corretas para a elaboração da mesma. Este é o principal objetivo desta ferramenta, pois com a modelagem entre PFS, e o refinamento sucessivo das atividades na RdP, possibilita que mesmo um profissional que tenha falta de atenção ou mesmo a falta de conhecimento de uma área específica, possa executar uma LM, pois a modelagem induz o profissional a responder o que deve ser respondido, portanto ter a informação mínima para seguir com os questionamentos sequências.

Na Figura 4.41, é possível visualizar a simulação da rede através do software HPSim *Application* (version 1.0.0.2, 2003, Company Henryk Anschuetz). Identificando as posições das marcas em cada condição, e a possibilidade de seguir para três tecnologias diferentes.

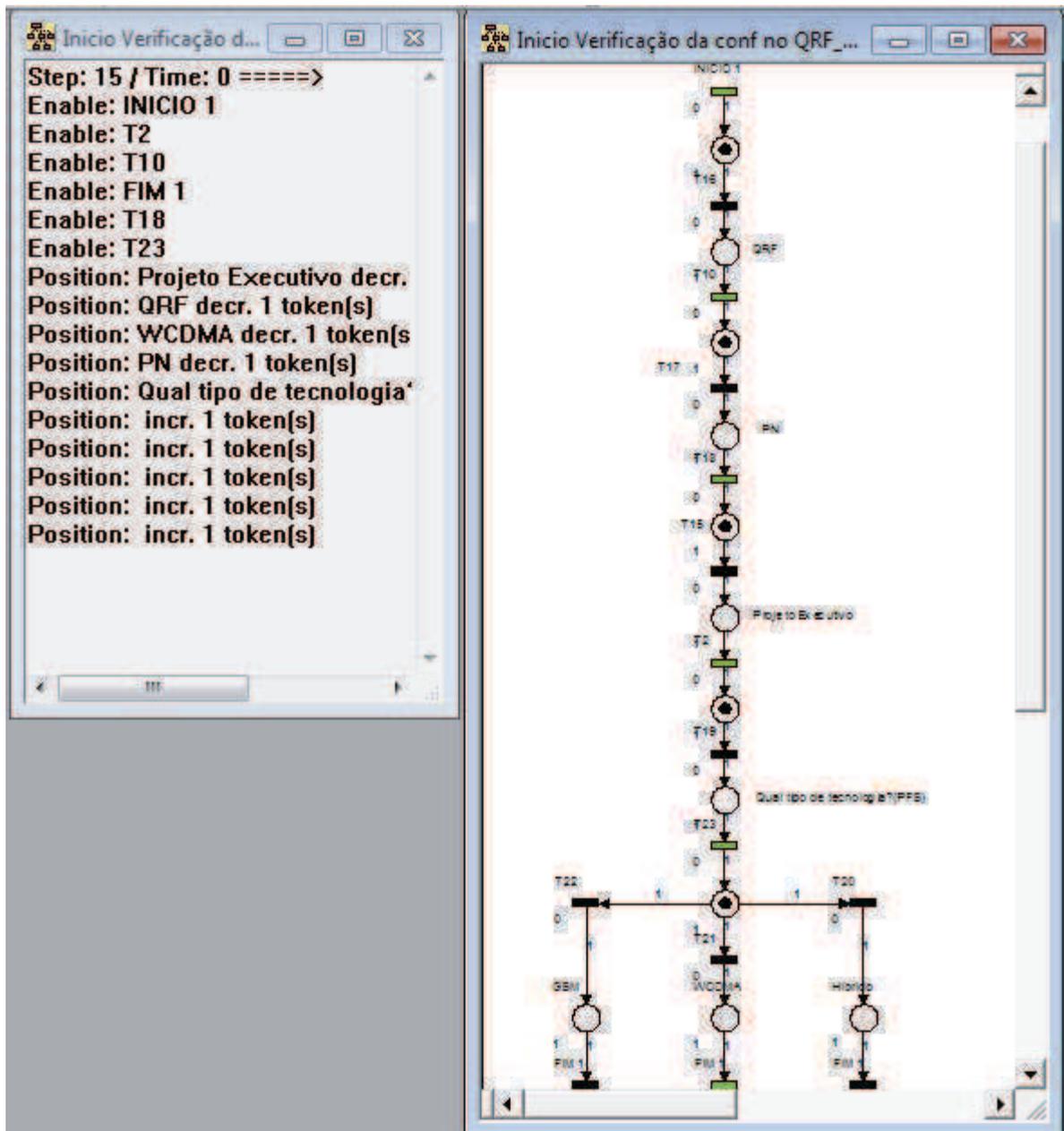


Figura 4.41: Verificação da configuração no documentos QRF/PN (simulação no HPSim *Application*, version 1.0.0.2, 2003, Company Henryk Anschuetz).

A partir da decisão da tecnologia, define-se as demais macro-atividades a serem modeladas através das RdP. A modelagem de todas as possibilidades para

as três tecnologias foi segmentada em sete RdP, cujos modelos completos estão nos apêndices. Sendo nomeados da seguinte maneira:

- *GSM_varias_MHz_Macro*: esta RdP modela todas as definições dos materiais para a solução da tecnologia GSM com gabinete *Macro*;
- *GSM_varias_MHz_MainRemote*: esta RdP modela todas as definições dos materiais para a solução da tecnologia GSM com gabinete *MainRemote*;
- *WCDMA_varias_MHz_Macro*: esta RdP modela todas as definições dos materiais para a solução da tecnologia WCDMA com gabinete *Macro*;
- *WCDMA_varias_MHz_MainRemote*: esta RdP modela todas as definições dos materiais para a solução da tecnologia WCDMA com gabinete *MainRemote*;
- *Híbrido_varias_MHz_Macro*: esta RdP modela todas as definições dos materiais para a solução da tecnologia híbrido com gabinete *Macro*;
- *Sistema Irradiante*: esta RdP modela todas as definições dos materiais para sistema irradiante das três tecnologias abordadas neste trabalho;
- *Infra estrutura*: esta RdP modela a definição dos materiais para infra estrutura das três tecnologias abordadas neste trabalho;

O processo de modelagem não é diferente das anteriores, em que as condições foram definidas como as atividades a serem executadas, os arcos direcionam para as próximas atividades a serem executadas, sendo que os eventos são as ações de executar as atividades definidas nas condições anteriores, e assim sucessivamente. Porém, com maior quantidade de condições, comparada ao exemplo da Figura 4.40, que indicam um número maior de decisões de diferentes atividades, para definir diferentes tipos de soluções possíveis.

Para a RdP anterior, as atividades/ações das condições/eventos foram definidas como as atividades de analisar a documentação do cliente, para se ter uma resposta da ação questionada. Nas atividades propostas nestas próximas RdP, cada análise realizada e respostas aos questionamentos, resultará no retorno de um tipo ou conjunto de materiais na ferramenta a ser desenvolvida, ou seja, o bloco de itens das funções definidas.

A equivalência entre a PFS e as RdP verifica-se nos exemplos a seguir. Será utilizada a RdP *GSM_varias_MHz_Macro* como exemplo, e as demais equivalências estão disponíveis nos apêndices.

Após a análise dos documentos, na PFS, a sequência para GSM está representada no ramo da Figura 4.42:

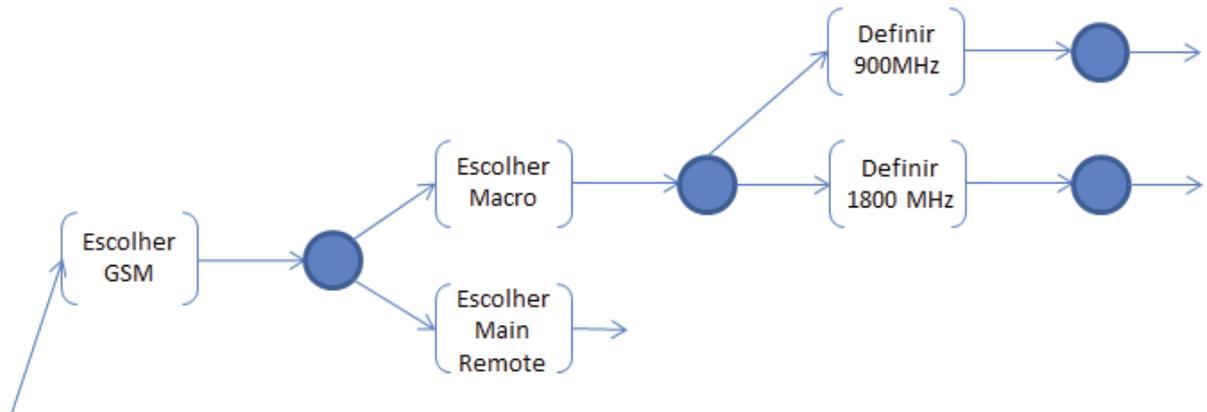


Figura 4.42: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 1

A correspondência entre as macro-atividades e a RdP é possível ser visualizada na representação indicada na Figura 4.43:

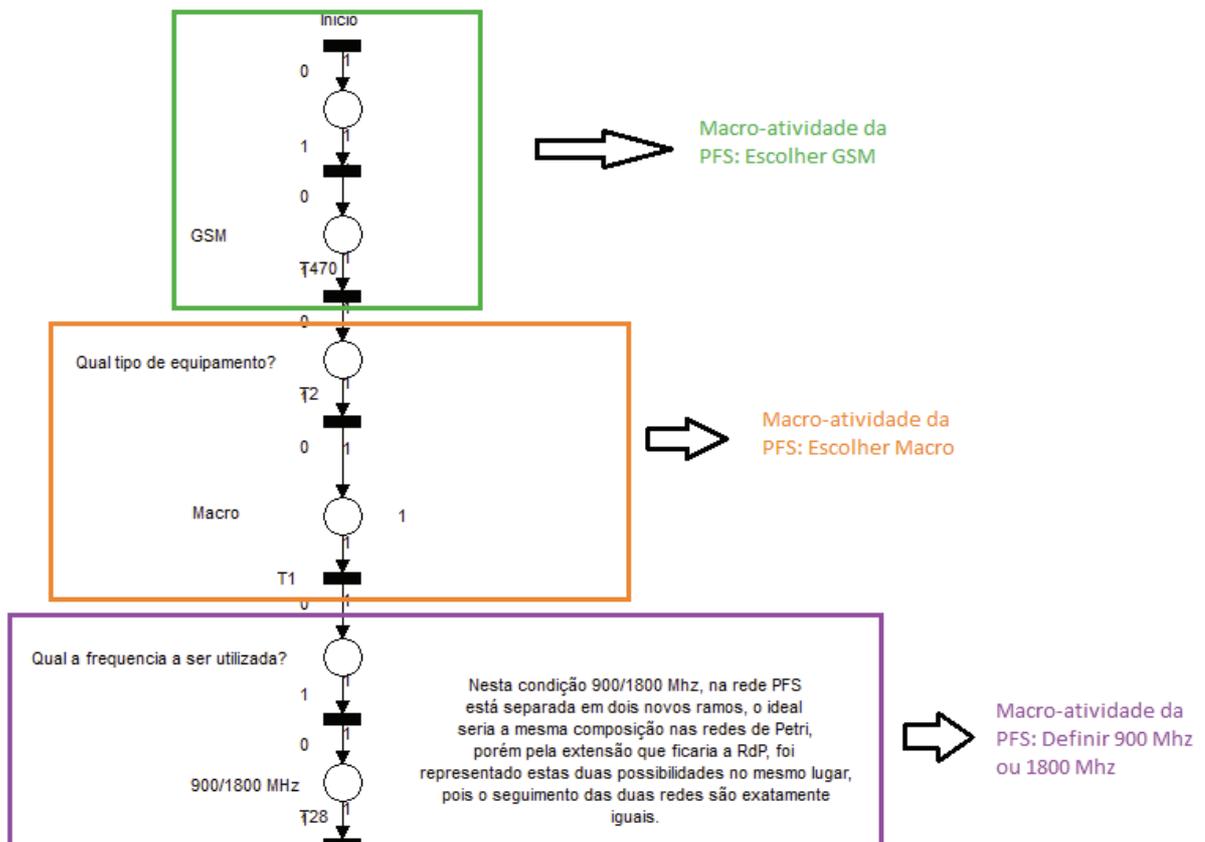


Figura 4.43: Comparação entre PFS x RdP, parte 1.

Nas Figuras 4.42 e 4.43 é possível visualizar que para cada macro-atividade em PFS equivale a mais de uma condição na RdP. As Figuras estão subdivididas em cores para facilitar o entendimento das equivalências, pois cada cor equivale a uma macro-atividade na PFS, sendo selecionada as condições/eventos na RdP.

Como exemplo, a macro-atividade “Escolher *Macro*”, para ser executada a macro-atividade em RdP, é necessário duas atividades, ou melhor condições, para se ter o resultado. Em que, é necessário ter o questionamento de “Qual tipo de equipamento?”, após o evento de se questionar, define-se o tipo de equipamento, no caso “*Macro*”, e assim conclui-se a macro-atividade. Portanto são duas ações em uma correspondente. Esta equivalência está apresentada nas outras Figuras a seguir, para o ramo da PFS GSM.

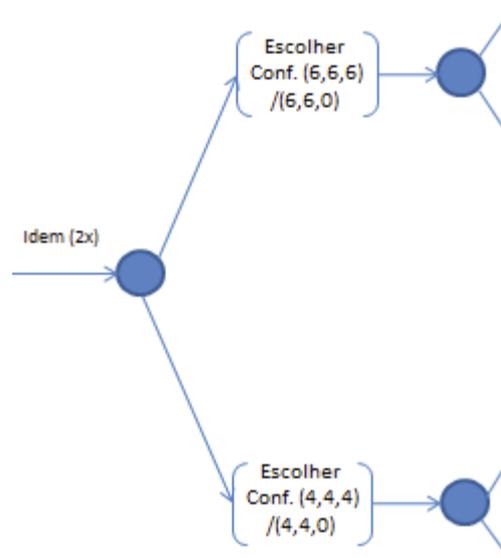


Figura 4.44: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 2

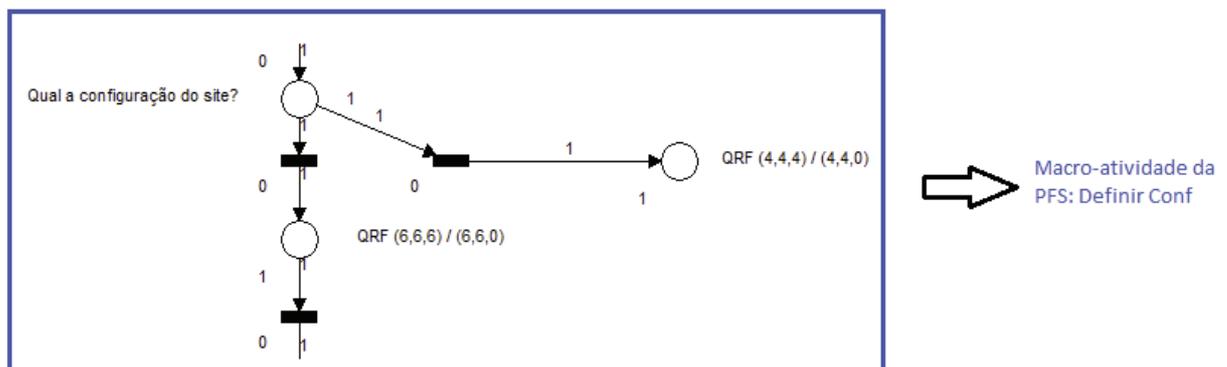


Figura 4.45: Comparação entre PFS x RdP, parte 2.

Nas Figuras 4.44 e 4.45 estão sendo representadas as definições entre PFS x RdP da configuração do equipamento. Para este exemplo será definida a configuração (6,6,6)/(6,6,0).

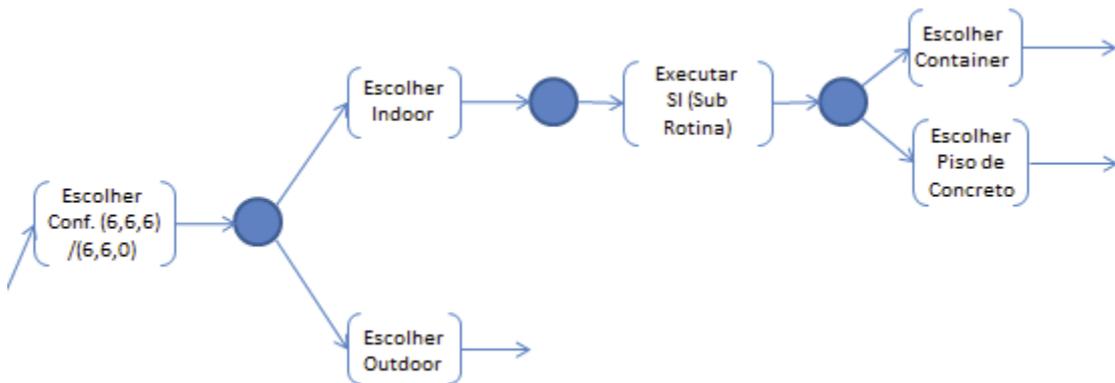


Figura 4.46: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 3

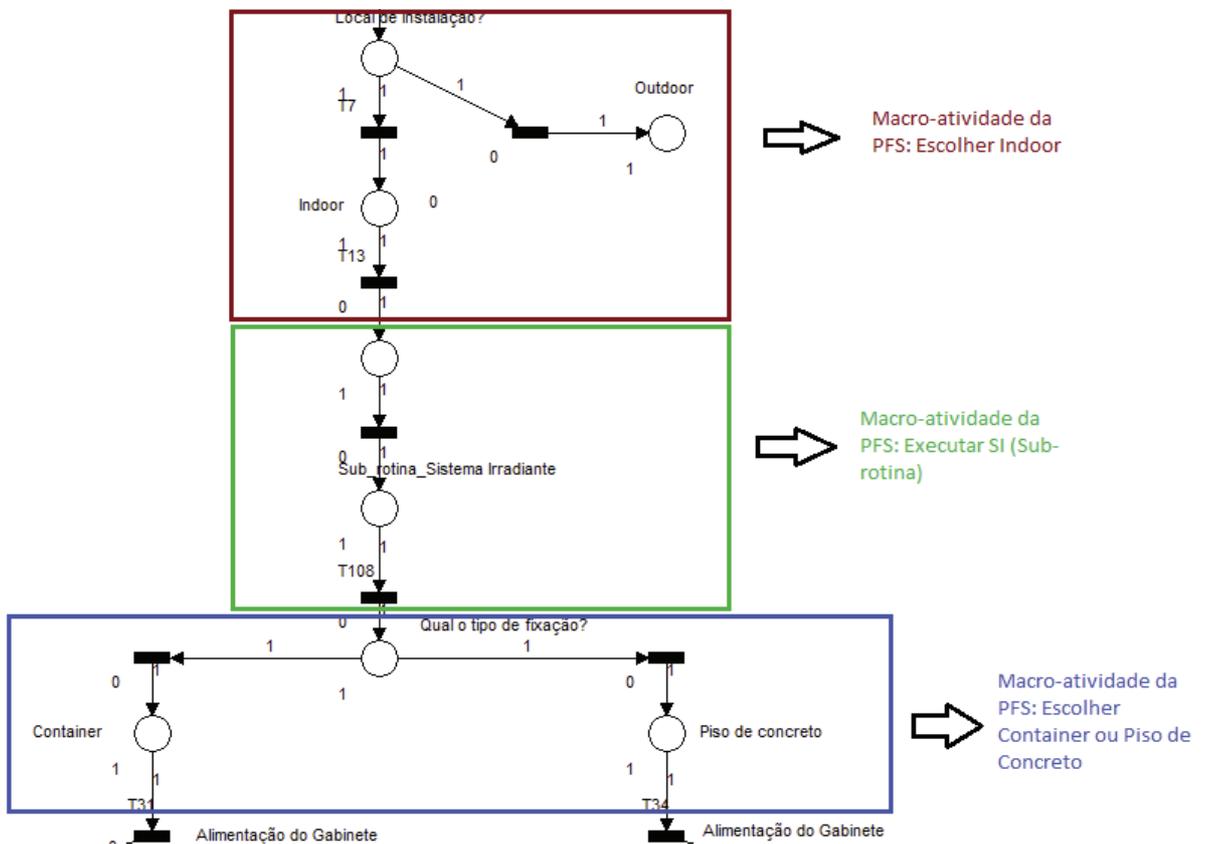


Figura 4.47: Comparação entre PFS x RdP, parte 3.

Nas Figuras 4.46 e 4.47 estão sendo representadas as equivalências entre PFS x RdP da decisão se o equipamento será instalado em ambiente *Indoor* ou *Outdoor*. Para este exemplo é definido o ambiente *Indoor*.

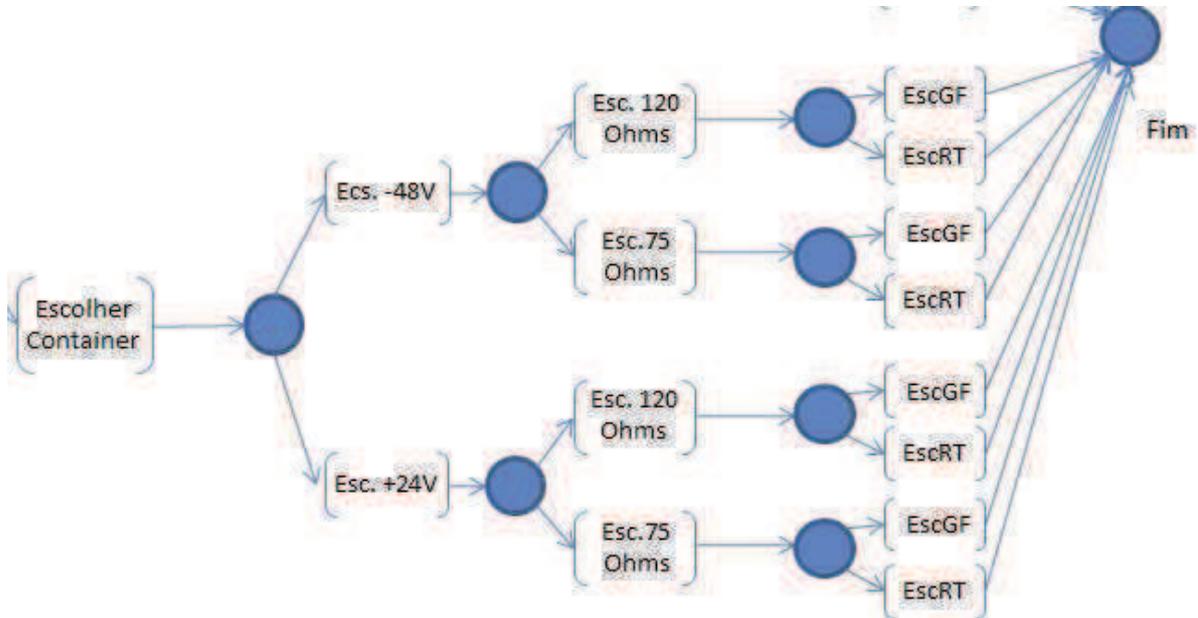


Figura 4.48: Ramo da PFS da modelagem para GSM, parte 4.

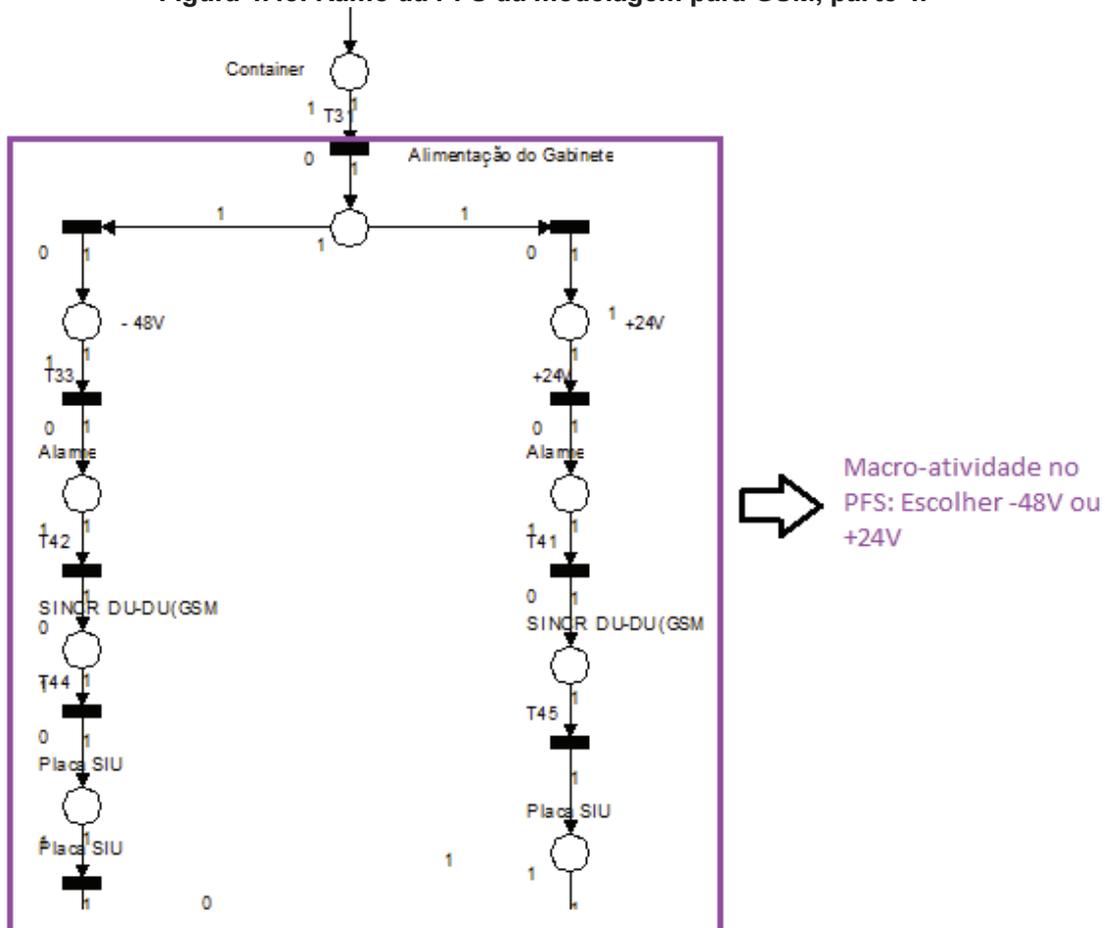


Figura 4.49: Comparação entre PFS x RdP, parte 4.

É apresentada na sequência a indicação do sistema irradiante. Como possui características específicas, tornou-se necessário uma RdP exclusiva para ele. Em seguida a definição se o equipamento será instalado em *Container* ou piso de concreto. Neste exemplo será utilizada a opção *Container*.

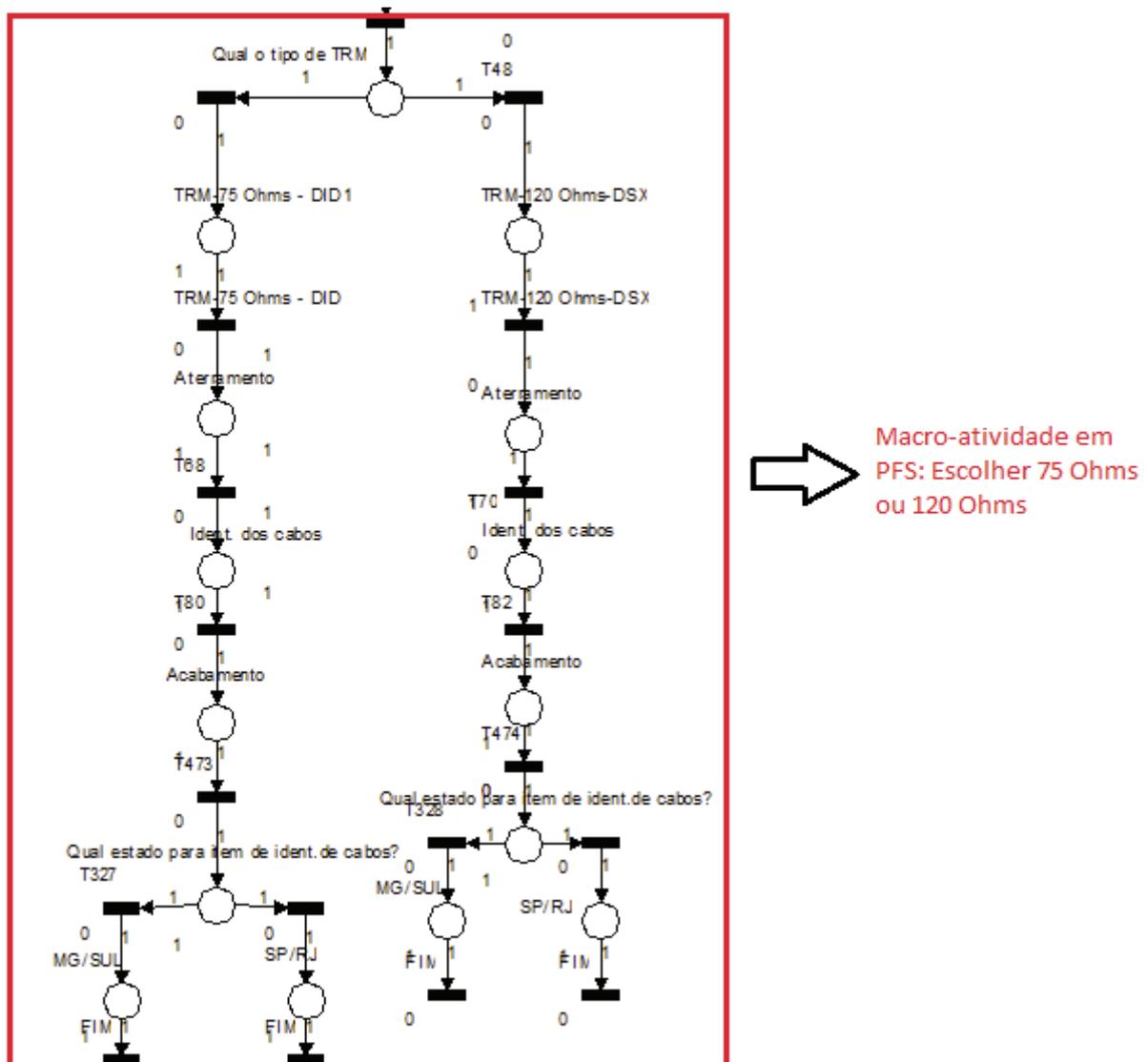


Figura 4.50: Comparação entre PFS x RdP, parte 5.

Na Figura 4.48, está a finalização da PFS para a solução de tecnologia GSM, 900 ou 1800 Mhz, configuração (6,6,6/6,6,0), instalação em ambiente *Indoor* em *Container*, com alimentação +24V ou -48V, com transmissão e com infraestrutura GF ou RT. Nas Figuras 4.49, 4.50 e 4.51 estão as equivalências das macro-atividades da PFS em RdP com relação a Figura 4.48. Para a macro-

atividade “Escolher RT ou GF”, se fez necessário uma RdP exclusiva, igual ao sistema irradiante, pois repete-se em todas as modelagens, e como não possui interferência com as demais decisões, verificou-se a possibilidade de manter uma RdP separada. Nestas duas últimas equivalências tornam-se mais nítidas a quantidade de atividades incluídas em uma macro-atividade em PFS. Cada uma destas condições nas RdPs é um questionamento na ferramenta, que define o bloco de itens desta função. Este exemplo representou apenas um dos ramos de uma das RdP modeladas, por exemplo, a RdP GSM_varias_MHz_Macro possui 25 ramos, portanto 25 tipos de listas de materiais e possibilidades de solução para o cliente. O raciocínio é o mesmo para todas as demais RdPs.

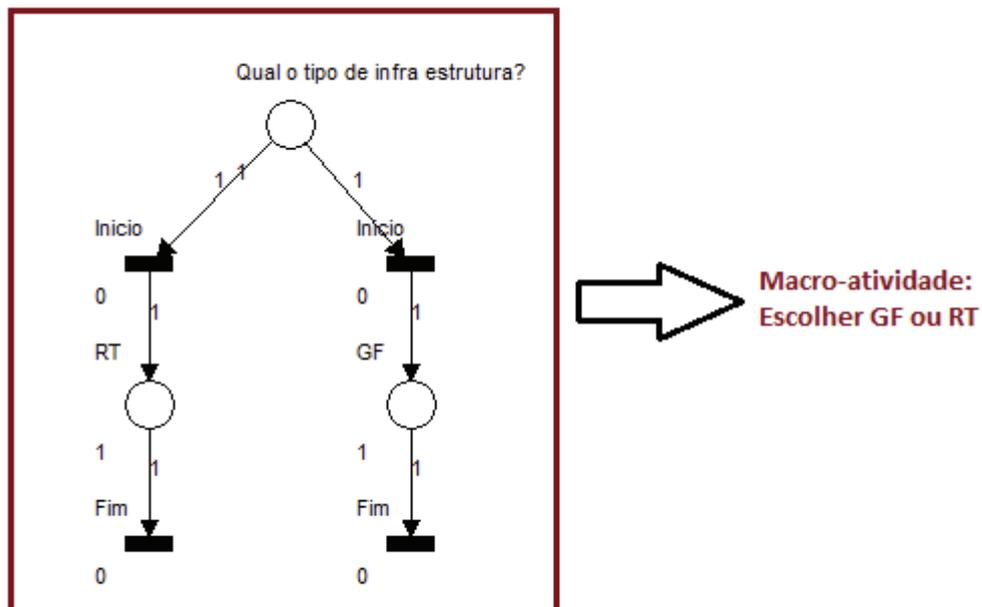


Figura 4.51: Comparação entre PFS x RdP, parte 6.

5. Desenvolvimento da ferramenta para especificação de materiais para equipamentos em Telecomunicações

Nesta fase de projeto foi desenvolvida a ferramenta com base nas modelagens em PFS/RdP, em planilha eletrônica (*Microsoft Excel*, 2010) e programação VBA. Existem duas etapas da ferramenta, na primeira define-se os materiais que serão utilizados para instalação dos equipamentos, e na segunda etapa define-se os materiais do sistema irradiante.

O desenvolvimento da ferramenta foi dividida em duas etapas: banco de dados e questionário, tanto para a etapa de especificação dos materiais dos equipamentos, quanto para o sistema irradiante.

O banco de dados possui todos os códigos de materiais que são possíveis de serem especificados e que estão autorizados pela fábrica, com as suas descrições e quantitativos para especificação de cada material em determinada situação. Isso significa que foi realizada a primeira triagem da especificação na definição dos itens no banco de dados. Com a modelagem em RdP foi possível visualizar itens similares e quantitativos definidos em cada tipo de solução indicada pelos projetistas. O banco de dados foi organizado de acordo com as condições da RdP formando blocos de itens vinculados com as suas características de especificação.

O questionário reproduz cada condição modelada nas RdPs, na mesma sequência e restringe o usuário, após cada resposta ou definição, a apenas as perguntas condizentes com as definições anteriores. Isso impede que o projetista tenha definições incoerentes com as anteriores já definidas. Cada resposta do questionário é indicada em um quadro de respostas. Neste quadro serão definidas as palavras chaves referentes a cada pergunta, que será comparada com o banco de dados selecionando os itens que possuem palavras chaves iguais. Os itens com palavras chaves iguais, é a LM final.

A Figura 5.1, apresenta a formatação do banco de dados, que possui 7 (sete) colunas, onde cada coluna significa uma resposta de um dos

questionamentos realizado pela ferramenta. Cada linha na planilha é um código que pode ser especificado para instalação. A primeira coluna “RESPOSTA” possui as possíveis respostas da pergunta indicada na coluna “PERGUNTAS”. As colunas “TIPO EQUIPAMENTO”, “TECNOLOGIA”, “FREQUÊNCIA”, “LOCAL DE INSTALAÇÃO” e “CONFIGURAÇÃO” são característica de cada item de material que são consideradas na sua especificação.

BANCO DE DADOS						
RESPOSTA	TIPO EQUIPAMENT	TECNOLOGI	FREQUENCIA	LOCAL DE INSTALAÇÃ	CONFIGURAÇÃ	Perguntas
900Mhz	MACRO	GSM	900Mhz	Outdoor	TODOS	Qual a frequência a ser utilizadas?
900Mhz	MACRO	GSM	900Mhz	Outdoor	TODOS	Qual a frequência a ser utilizadas?
1800Mhz	MACRO	GSM	1800Mhz	Outdoor	(4,4,4)	Qual a frequência a ser utilizadas?
1800Mhz	MACRO	GSM	1800Mhz	Outdoor	(4,4,4)	Qual a frequência a ser utilizadas?
1800Mhz	MACRO	GSM	1800Mhz	Outdoor	(6,6,6)	Qual a frequência a ser utilizadas?
1800Mhz	MACRO	GSM	1800Mhz	Outdoor	(6,6,6)	Qual a frequência a ser utilizadas?
1800Mhz	MACRO	GSM	1800Mhz	Indoor	TODOS	Qual a frequência a ser utilizadas?

Figura 5.1: Banco de dados da ferramenta de execução de LM.

Dando sequência, na mesma linha, após a coluna “PERGUNTAS”, existe as colunas “CÓDIGO”, “DESCRIÇÃO” e “QTD”, estas colunas indicam a codificação de fábrica, a descrição e o quantitativo necessário para este item com relação a caracterização das colunas anteriores. Vide Figura 5.2:

ITENS E QUANTITATIVOS			
Perguntas	Código	Descrição	Qtd
Qual a frequência a ser utilizadas?	FAPB1301578/3009	RBS6102 GSM 3x4 900MHz 40W	1
Qual a frequência a ser utilizadas?	NCD90126/12	OVERVOLTAGE ARRESTER/OVP-TRM2, External	2
Qual a frequência a ser utilizadas?	FAPB1301578/3061	RBS6102 4,4,4, 14W, 1800MHz,75ohm,+24VDC (RUS)	1
Qual a frequência a ser utilizadas?	NCD90126/12	OVERVOLTAGE ARRESTER/OVP-TRM2, External	2
Qual a frequência a ser utilizadas?	FAPB1301578/3060	RBS6102 6,6,6, 14W, 1800MHz,75ohm,+24VDC (RUS)	1
Qual a frequência a ser utilizadas?	NCD90126/12	OVERVOLTAGE ARRESTER/OVP-TRM2, External	2
Qual a frequência a ser utilizadas?	FAPB1301498/3024	RBS6201_444_15W_1800MHz_+24VDC_RUS	1

Figura 5.2: Itens e quantitativos da ferramenta de execução de LM.

As características para definir a LM a ser especificada, serão indicadas nos questionamentos realizados através da programação elaborada na planilha eletrônica (*Microsoft Excel*, 2010), que se inicia-se com a tecla “EXECUTAR”, indicada na Figura 5.3, as respostas dos questionamentos guiados estarão disponíveis na tabela ao lado da tecla, chamada de “FORMULÁRIO DE RESPOSTAS”. Esta tabela, está conectada com a tabela “CONFIGURADOR”, sendo que todas as respostas estarão indicadas em várias células do “CONFIGURADOR” definindo-se as palavras chaves.

A tabela “CONFIGURADOR” gera automaticamente as chaves de busca que permitirão a seleção automática dos materiais cadastrados no banco de dados. Na Figura 5.3, apresenta o “FORMULÁRIO DE RESPOSTAS” e a tecla “EXECUTAR” dos questionamentos realizados pela ferramenta, está é a interface de comunicação da ferramenta com o projetista.

FORMULÁRIO DE RESPOSTAS	
Perguntas	Resposta
Qual tecnologia a ser utilizada?	WCDMA
Local de Instalação?	Outdoor
Qual tipo de equipamento?	MAIN REMOTE
Qual a frequência a ser utilizadas?	850/2100MHz
Qual a configuração do site?	(2,2,2)
Qual o tipo de fixação?	0
Qual tipo de alimentação do gabinete?	0
Itens de Alames	0
Itens de SINCR DU - DU (GSM)	0
Temos placa siu?	Não
Qual o tipo de transmissão (TRM)?	120 Ohms
Itens de aterramento	Sem Resposta
Qual estado de origem para item de ident. c	SP/RJ
Itens de identificação de cabos	Sem Resposta
Itens de acabamento	Sem Resposta
Qual estado de origem?	0
Itens padrão	0
Itens de Fixação	0
Itens da BBC	0
Fornecimento do Gabinete?	ELTEK
Qual a configuração do site com a frequên	(2,2,2)_850,2100 MHz
Aterramento MU	Sem Resposta
MU Optical	Sem Resposta
Aterramento RRUW	Sem Resposta
Fixação RRU	Sem Resposta



Figura 5.3: Demonstração do Formulário de respostas e tecla executar.

A RdP modelada é de fato programada em VBA de forma a apresentar os questionamentos de forma coerente, vide Figura 5.4:

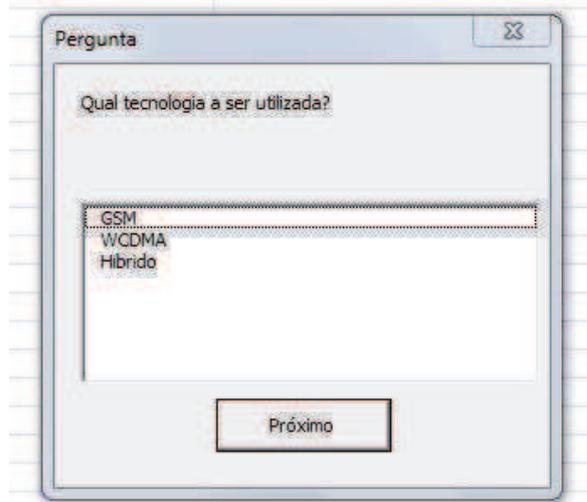


Figura 5.4: Exemplo da janela dos questionamentos.

Na Figura 5.4, apresenta um exemplo de como são apresentados os questionamentos para o projetista. De forma simples, com o questionamento na janela, e a resposta no quadro para ser selecionada, sempre uma pergunta com uma única resposta.

Finalizando, tem-se a tabela dos itens selecionados para a LM, chamada de “LISTA DE MATERIAL”. Nesta tabela, terão os itens selecionados do banco de dados, e serão demonstrados apenas os códigos, descrição e quantitativos dos itens, sendo o conjunto destes itens a LM final do projeto. Exemplo indicado na Figura 5.5, como visual é apresentada a LM para o projetista.

LISTA DE MATERIAL					
Sum of Qty	Perguntas	RESPOSTA	Código	Descrição	Total
	• Temos placa siu?	• Sim	• RPM91970101700	CABLE WITH CONNECTOR/SIGNAL CABLE (CONEXÃO DUG port ETA e ETB com SIU	2
			• RPMB201028	CABO CAT6 RJ-45 0 RJ-45, 3,0m. (Patch Cord RJ/RJ Blue 10ft (PIN - UTPSP10BU)	1
			• RPV40301118	CONNECTOR RJ45 8/8 MODULAR	4
			• TEL3015020/004	CABO UTP CAT 6	40
			• NTMB901152	Site Integration Unit 02, SIU-02	1
	• Qual tipo de equipamento?	• Macro	• (blank)	(blank)	
	• Qual tecnologia a ser utilizada?	• GSM	• (blank)	(blank)	
	• Qual o tipo de transmissão (TRM)?	• 75 Ohms	• 03/SBA138060/0120	PARAFUSO PARA PORCA GAICLA	8
			• NTMB5000050/401	RÉGUA DID 16 POSIÇÕES PARA RACK 19"	1
			• RPMB201028	CABO CAT6 RJ-45 0 RJ-45, 3,0m. (Patch Cord RJ/RJ Blue 10ft (PIN - UTPSP10BU)	2

Figura 5.5: Exemplo de LM na ferramenta.

Este mesmo processo, foi realizado para o Sistema Irradiante, que como possui questionamentos específicos e é utilizada para todos os tipos de LM, apresenta-se em uma planilha eletrônica a parte. Faz-se necessário a execução de ambas para se ter a LM completa: equipamento mais o sistema irradiante

6. Considerações finais

6.1. Histórico de falhas

Nas primeiras semanas do ano de 2012 foi realizada uma auditoria nas áreas responsáveis por especificação de itens de materiais de instalação, por ter tido muitas reclamações da área de instalação por erros nas especificações, que causaram retrabalhos desnecessários na cadeia produtiva.

Por isso, foram levantados os principais motivos de erros, e realizado o acompanhamento por um projetista com maior experiência do que do grupo auditado, com relatórios semanais da evolução, e ações para melhoria do processo.

Na Figura 6.1, é possível analisar os principais erros verificados internamente nas listas de materiais analisadas:

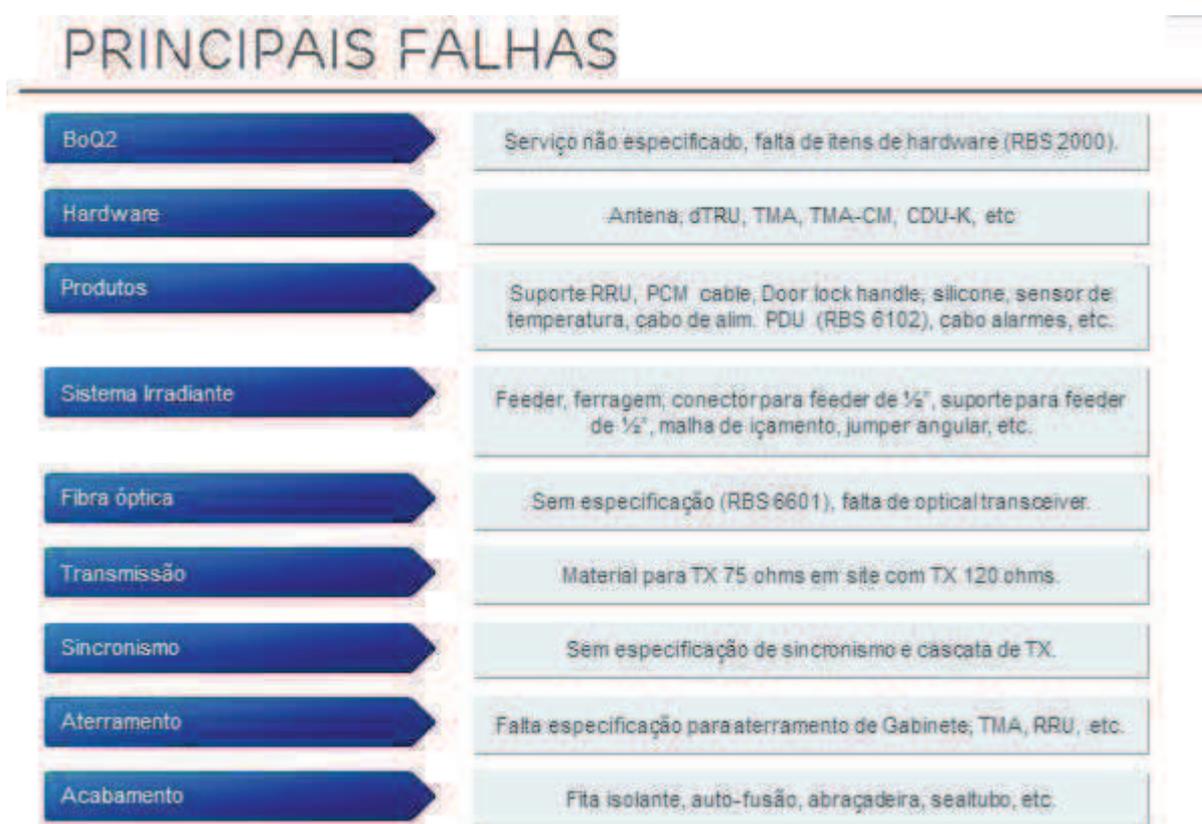


Figura 6.1: Principais erros na especificação de materiais.

Na Figura 6.1 apresenta os principais erros encontrados na verificação das listas de materiais, através da auditoria. No canto esquerdo, é possível verificar em

quais características técnicas dos materiais faltantes, por exemplo: *Hardware*, fibra óptica, transmissão etc. No lado esquerdo indica quais tipos de itens faltantes foram encontrados, correlacionados com o canto direito, exemplo do *Hardware* faltaram: antenas, placas de especificação do equipamento etc.

Na Figura 6.2, é possível analisar os índices por semana de listas auditadas sem falta de materiais indicadas como acertos, com relação ao executado dentro da mesma semana. É possível visualizar semanas críticas como a w04 e w16, que houveram os menores índices 50% e 73% respectivamente, as demais semanas acima de 80% de acertos.

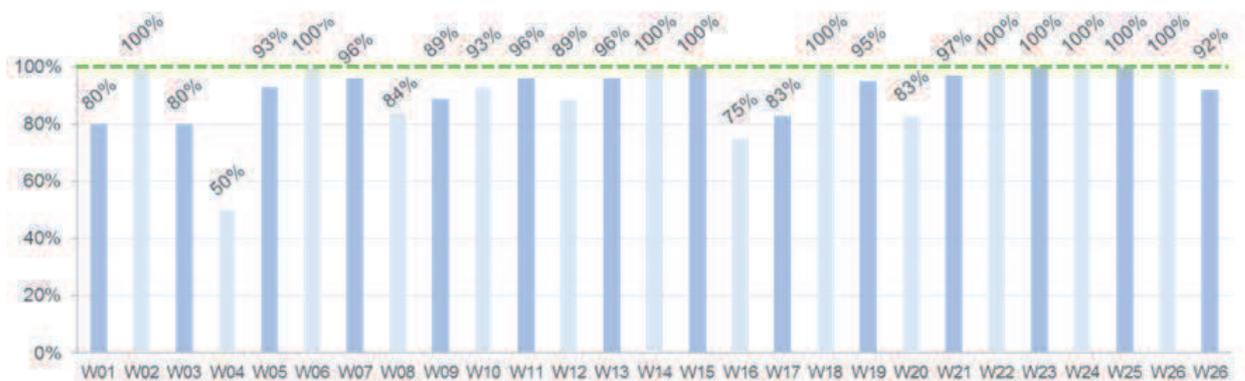


Figura 6.2: : Índices por semana de acertos das listas de materiais executadas dentro da semana.

Nas Figura 6.3 a 6.5, é possível analisar o detalhamento de 3 (três) semanas com menores índices de acertos, com os quantitativos totais da semana (número total de listas, com relação as listas corretas e erradas).

	Quantity	%
BoQ Production	19	-
BoQ Checked	19	100%
BoQ Approved	16	84%
BoQ Revised	3	16%

Figura 6.3: Índices da semana 08/2012.

Na Figura 6.3, apresenta a produção semanal de 19 LMs (*BoQ Production*), dessas 19 LMs, foram auditadas (*BoQ Checked*) as 19 listas, portanto 100% auditadas. Dentro destas 19 LMs, foram aprovadas (*BoQ Approved*) pela auditoria, sem falta de materiais, 16 LMs, portanto 84% de acertos e 3 LMs foram revisadas devido a falta de algum material (*BOQ Revised*) sendo 16% com falhas.

	Quantity	%
BoQ Production	20	-
BoQ Checked	20	100%
BoQ Approved	15	75%
BoQ Revised	5	20%

Figura 6.4: Índices da semana 16/2012.

A mesma análise está indicada na Figura 6.4, onde a produção semanal de 20 LMs (*BoQ Production*), dessas 20 LMs, foram auditadas (*BoQ Checked*) as 20 listas, portanto 100% auditadas. Dentro destas 20 LMs, foram aprovadas (*BoQ Approved*) pela auditoria, sem falta de materiais, 20 LMs, portanto 75% de acertos e 5 LMs foram revisadas devido a falta de algum material (*BOQ Revised*) sendo 20% com falhas.

	Quantity	%
BoQ Production	35	-
BoQ Checked	35	100%
BoQ Approved	29	83%
BoQ Revised	6	17%

Figura 6.5: Índices da semana 20/2012.

Na Figura 6.5, apresenta a produção semanal de 35 LMs (*BoQ Production*), dessas 35 LMs, foram auditadas (*BoQ Checked*) as 35 listas, portanto 100% auditadas. Dentro destas 35 LMs, foram aprovadas (*BoQ Approved*) pela auditoria,

sem falta de materiais, 29 LMs, portanto 83% de acertos e 6 LMs foram revisadas devido a falta de algum material (*BOQ Revised*) sendo 17% com falhas.

6.2. Resultados Obtidos

A partir deste dados, foi verificado que era possível a melhoria deste processo através da automatização da execução das listas de materiais, para diminuir os erros de especificação, com o objetivo de alcançar 100% de acertos.

Após o desenvolvimento da ferramenta resultado deste trabalho é descrito no capítulo anterior, foram realizados os testes utilizando a ferramenta com os mesmos projetistas que participaram do levantamento dos dados iniciais neste trabalho. Foram 7 profissionais que trabalharam em 5 listas de materiais cada um.

A estes profissionais foi solicitado o preenchimento de um questionário de 4 (quatro) questões envolvendo a utilização da ferramenta e o quanto a mesma auxiliara na execução da atividade. Seguem as questões e os índices positivos e negativos das respostas:

1-) A ferramenta atendeu as expectativas?

Tabela 1: Resultado da questão 1.

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

Na tabela 1 está indicando o resultado dos 7 projetistas com relação ao questionamento “A ferramenta atendeu as expectativas?”, 85,71% dos projetistas consideraram que a ferramenta atende às suas expectativas.

A observação do Projetista 4:

(x) Não, porque: a ferramenta pode apresentar uma gama maior de possibilidades de configuração, e ainda inclusão de outros elementos de RF necessários à configuração. A interface do usuário pode melhorar sem a necessidade de perguntas

com a mesma resposta e a possibilidade durante o processo de especificação poder voltar para no questionamento anterior.

2-) A ferramenta foi de fácil manuseio?

Tabela 2: Resultado da questão 2.

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

Na tabela 2 está indicando o resultado dos 7 projetistas com relação ao questionamento “ A ferramenta foi de fácil manuseio?”, 85,71% dos projetistas indicaram que a ferramenta possui fácil manuseio.

A observação do Projetista 7:

(x) Não, porque: A ferramenta possui muitas folhas e linhas preenchidas podendo dificultar o entendimento de quem não tem conhecimento da ferramenta. Poderia ser melhorado a interface com o usuário, ocultando o banco de dados e as tabelas que são de apoio para ferramenta e não são necessárias que o usuário visualize.

3) A ferramenta facilitou na especificação da lista de materiais?

Tabela 3: Resultado da questão 3.

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

Na tabela 3 está indicando o resultado dos 7 projetistas com relação ao questionamento “A ferramenta facilitou na especificação da lista de materiais?”, 100% dos projetistas indicaram que a ferramenta facilitou na especificação das LMs.

4) Quanto tempo despendeu para elaborar uma lista de materiais? E no método atual, quanto tempo despende para elaboração da lista de materiais?

Na tabela 4, está tabelado os tempos em minutos dos 7 projetistas e as 5 listas para elaboração de cada LM através da ferramenta.

Tabela 4: Resultado da questão 4 – Elaboração da LM na ferramenta.

Elaboração da LM na ferramenta					
Recurso	LM_1 (min)	LM_2 (min)	LM_3 (min)	LM_4 (min)	LM_5 (min)
Projetista_1	6	6	8	6	7
Projetista_2	5	5	6	6	8
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

Na tabela 5, está tabelado os tempos em minutos dos 7 projetistas e as 5 listas para elaboração de cada LM através do método manual, processo atual.

Tabela 5: Resultado da questão 4 – Elaboração da LM manualmente (processo atual).

Elaboração da LM manualmente (processo atual)					
Recurso	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

Observações/comentários da ferramenta realizadas pelos projetistas:

Projetista_2:

A ferramenta diminui de forma expressiva o tempo de execução da lista de materiais pois somente respondendo as perguntas e checando alguns detalhes na documentação já é possível gerar a lista de materiais.

Alterações para melhoria: Será necessário adicionar as opções de antenas, suportes de parede e mini-poste de RRU para os casos de *MainRemote* para aumentar o número de soluções com este equipamento. Inserir o questionamento sobre o *jumper* quando a solução é *MainRemote*.

Projetista_3:

Ampliar o número de questionamentos para outros itens relacionados ao sistema irradiante, assim sendo possível ter outras possíveis solução para o mesmo.

Tabela 6: Análise dos resultados obtidos.

Recurso	Média com a ferramenta (min)	Média manualmente (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 (Média)	8,71	37,28	28,57	76,64%

Na tabela 6 apresenta um comparativo de tempos entre o tempo médio de elaboração das 5 LMs por projetista na ferramenta e manualmente. A partir destes resultados foi possível comparar a otimização em tempo entre as duas médias por projetista, sendo possível visualizar na última coluna a porcentagem de melhoria na diminuição de tempo de elaboração das LMs.

6.3. Análise comparativa

Com relação à qualidade das LMs, o índice de acerto foi de 100%, pois após as verificações, não houveram erros nas especificações, sem indicação de falta de itens ou erro nos quantitativos.

A aceitação da ferramenta entre os projetistas foi muito positiva na linha de produção. Além de melhorar o nível de qualidade nas execuções das listas de materiais, para acertos de 100% das listas, melhorou o desempenho, em tempo, de cada projetista em média de 76,64%. Os comentários dos projetistas, no geral, indica a necessidade de maior quantidade de itens de material e assim de soluções para poder ser utilizada em todas os casos existentes, pois a ferramenta se limitou em um número fechado de tipos de soluções, por ser um protótipo, indicando a necessidade da automatização da atividade, até mesmo pelos projetistas.

6.4. Conclusão e trabalhos futuros

A partir da proposta inicial do trabalho de modelar e otimizar o processo de elaboração das listas de materiais e equipamentos de Telecomunicações foi realizada a pesquisa bibliográfica a fim de identificar propostas semelhantes e as técnicas utilizadas. Dentre as possibilidades foram selecionadas duas técnicas: as redes de *Petri* (RdP) e a *Production Flow Schema* (PFS). Para essas duas técnicas o estudo foi aprofundado e suas principais características deram origem a revisão bibliográfica presente neste texto, apresentando uma visão geral das definições e propriedades a serem aplicadas.

Uma vez adquiridos os conhecimentos fundamentais para a aplicação na proposta deste trabalho, partiu-se para a modelagem do processo. Essa modelagem

consumiu muitas horas por ser uma atividade de avaliação de todas as possibilidades de soluções técnicas para instalação de equipamentos de Telecomunicações. Esta etapa pode também ser entendida como uma consolidação do conhecimento da equipe do departamento de engenharia e, portanto contou com entrevistas a profissionais experientes da área. Os conteúdos pesquisados formaram a base para o desenvolvimento das modelagens em PFS, e das RdP, apresentadas nos apêndices.

Após as modelagens foi possível desenvolver a ferramenta em planilha eletrônica (*Microsoft Excel*, 2010), com facilidade, devido a simplicidade da linguagem das RdP. Nesta ferramenta foi dividida em duas planilhas, a da parte do equipamento e do sistema irradiante. Possuem a mesma metodologia, sendo composta por banco de dados, a programação da RdP em VBA e a LM final e a tabelas de apoio para execução da macro.

Os testes realizados com a ferramenta junto aos projetistas foram extremamente satisfatórios, pois houve uma boa aceitação por parte deles. Esta percepção pode ser comprovada pelo resultado do questionário solicitado aos profissionais responderem após a utilização da ferramenta. Cada pergunta reflete um objetivo que a ferramenta deveria alcançar para ter o potencial necessário para ser utilizada na linha de produção, portanto na primeira e na segunda questão sobre se a ferramenta atendeu as expectativas e se foi de fácil manuseio, o resultado foi de 85,71% de aceitação, enquanto que para o terceiro questionamento se a ferramenta facilitou a elaboração de lista de materiais foi de 100%. As indicações críticas, dos dois primeiros questionamentos, foram de não atender pois tem a necessidade de maior quantidade de itens de material e assim de soluções para poder ser utilizada em todas as soluções possíveis existentes, outro comentário foi a melhoria da interface do usuário com a ferramenta para diminuir a quantidade de folhas e linhas que não precisam ser manuseadas pelo usuário final, assim evitando problemas que possam desconFigurar a planilha. Portanto, as críticas são sanáveis com a continuação do desenvolvimento da ferramenta.

Com relação a qualidade das LM, foi de 100%, pois foram verificadas todas as LM e não houveram erros nas especificações, mesmo na falta de itens ou nos quantitativos.

Apesar da ferramenta ter sido desenvolvida como um protótipo, limitando-se um número fechado de tipos de soluções, os projetistas indicaram melhorias para ter o maior número possível de soluções modeladas e assim automatizar a atividade. Demonstrando a real necessidade dessa melhoria de processo, automatizando a atividade e indicando que a ferramenta atende a essa necessidade atual.

Portanto, para trabalhos futuros, pode-se desenvolver um maior banco de dados dos itens a serem especificados, e com um número maior de soluções, havendo a necessidade do estudo mais aprofundado pela parte técnica, pois entraria em soluções menos comuns, com condições de especificações atípicas, que precisaria de algumas padronizações, para serem inseridas em ferramenta. Além de melhorar visualmente para o usuário final, bloqueando áreas da ferramenta que não precisam ser manuseadas, para que não haja alterações, sem consultas do desenvolvedor anteriormente.

Com relação aos tempos de execução, foi verificado através das médias em minutos de cada profissional com relação ao tempo atual e o tempo com a ferramenta, foram extremamente satisfatórios. No método manual utilizado tem-se uma média de execução de 37,28 minutos, e com relação a ferramenta de 8,71 minutos, isso significa que foi possível diminuir em 76,64% o tempo médio de elaboração das LMs.

Portanto, com a ferramenta finalizada foi alcançado os objetivos esperados, de melhoria de qualidade, e redução de custos, através da otimização do tempo de elaboração de LM, e além disso, a padronização dos itens para todas as soluções, podendo até ser possível diminuir a quantidade de códigos existente, reduzindo ainda mais os custos de operação.

Bibliografia

ARAÚJO, O.Q.F. **Modelagem e dinâmica de processos**. Notas de aula, Escola de Química da UFRJ, 2013.

ALMEIDA, A.G.S. **Modelagem de sistema de controle de ar condicionado baseado em redes de Petri**. Tese de Mestrado, Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Escola Politécnica – USP, 2008.

CARDOSO, J., VALETTE, R. **Redes de Petri**, Florianópolis, UFSC, 1997.

CASSANDRAS, C.G. and LAFORTUNE, S. **Introduction to Discrete Event Systems**, second edition, 2008, publishing by Springer Science.

ERICSSON TELECOMUNICAÇÕES. **LTE (Long Term Evolution): A Evolução das Redes 3G**. Seção: Tutoriais Telefonia Celular. Disponível em <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/default.asp>>. Acesso 01 junh.2014.

HAYT, Willian H. Jr, BUCK, John A. **Eletromagnetismo**. Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 6º edição – 2003, pág. 204.

HENDESSI, Famarz, SHEIKH, Asrar U., GULLIVER, T. Aaron. **A TDMA-CDMA Cellular System**. Vehicular Technology Conference, 1997, IEEE 47th, Volume 1, pág. 373-376 vol.1, 1997

JENSEN, Kurt. **Coloured Petri Nets**. Discrete Event Systems: A New Challenge for Intelligent Control Systems, IEE Colloquium on, 1993, pag(s): 5/1 – 5/3, ITE Conference Publications.

JOHNSONBAUGH, Richard, MURATA, Tadao. **Petri Nets and Marked Graphs – Mathematical Models of Concurrent Computation**. The American Mathematical Monthly, vol. 89, no 8, oct. 1982, pag. 552 – 566.

JUNQUEIRA, F. **Modelagem e simulação distribuída de sistemas produtivos**. Tese de Doutorado, Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Escola Politécnica – USP, 2006.

MARRANGHELLO, Norian. **Redes de Petri: Propriedades e Análise**. Apostila, UNESP – São José do Rio Preto – São Paulo – SP, 2005.

MIYAGI, P. E. **Controle Programável Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**. Editora Edgard Blücher Ltda. 1º edição – 1996, 4º reimpressão - 2011.

MURATA, T. **Petri Nets: Properties, Analysis and Applications**. Proceedings of the IEEE, vol.77, no 4, april 1989.

NAKAMOTO, F.Y. **Projeto de Sistemas Modulares de Controle para Sistemas Produtivos**. Tese de Doutorado, Engenharia de Controle e Automação Mecânica, Escola Politécnica – USP, 2008.

PETERSON, James L., **Petri Nets**. Department of Computer Sciences, The University of Texas, Austin, Texas 78712, Computing Surveys, vol.9, no3, september 1977.

POTTER, Chris, **Digital Modulation**. The IEE Measurement, Sensors, Instrumentation and NDT Professional Network. Microwave Measurements Training Course, 2005. The 14th IEE (Ref. No. 2005/10870), IEE, may 2005.

QUALCOMM, Incorporated, **An overview of the application of code division multiple access (CDMA) to digital cellular systems and personal cellular networks**. TIA – Technical Review Subcommittee TR45.5, march, 1992.

RAMOS e BARROS, Joao Paulo M.P.. **Introdução à modelação de sistemas utilizando rede de Petri**, Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2001.

REISIG, W.. **A Primer in Petri Net Design**, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1992.

SAMPAIO PEREIRA, Mario Luis. **Metodologia Científica para TCC**. Apostila do curso de MBA em Gestão Estratégica e Econômica de Projetos, Fundação Getúlio Vargas, 2010.

SANTOS FILHO, Diolino José dos, et al. **Estruturação da Modelagem de Processos em Sistemas Produtivos**. In: V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Porto Alegre, 2001.

SIFAKIS, J. **Use of Petri nets for performance evaluation**. Institut de Mathématiques Appliquées Informatique, Grenoble, France, pag 185 – 202, 1977.

TUDE, Eduardo. **AMPS/TDMA (IS-136)**. Seção: Tutoriais Telefonia Celular, abr. 2003. Disponível em < <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtdma/default.asp>>. Acesso 01 junh.2014.

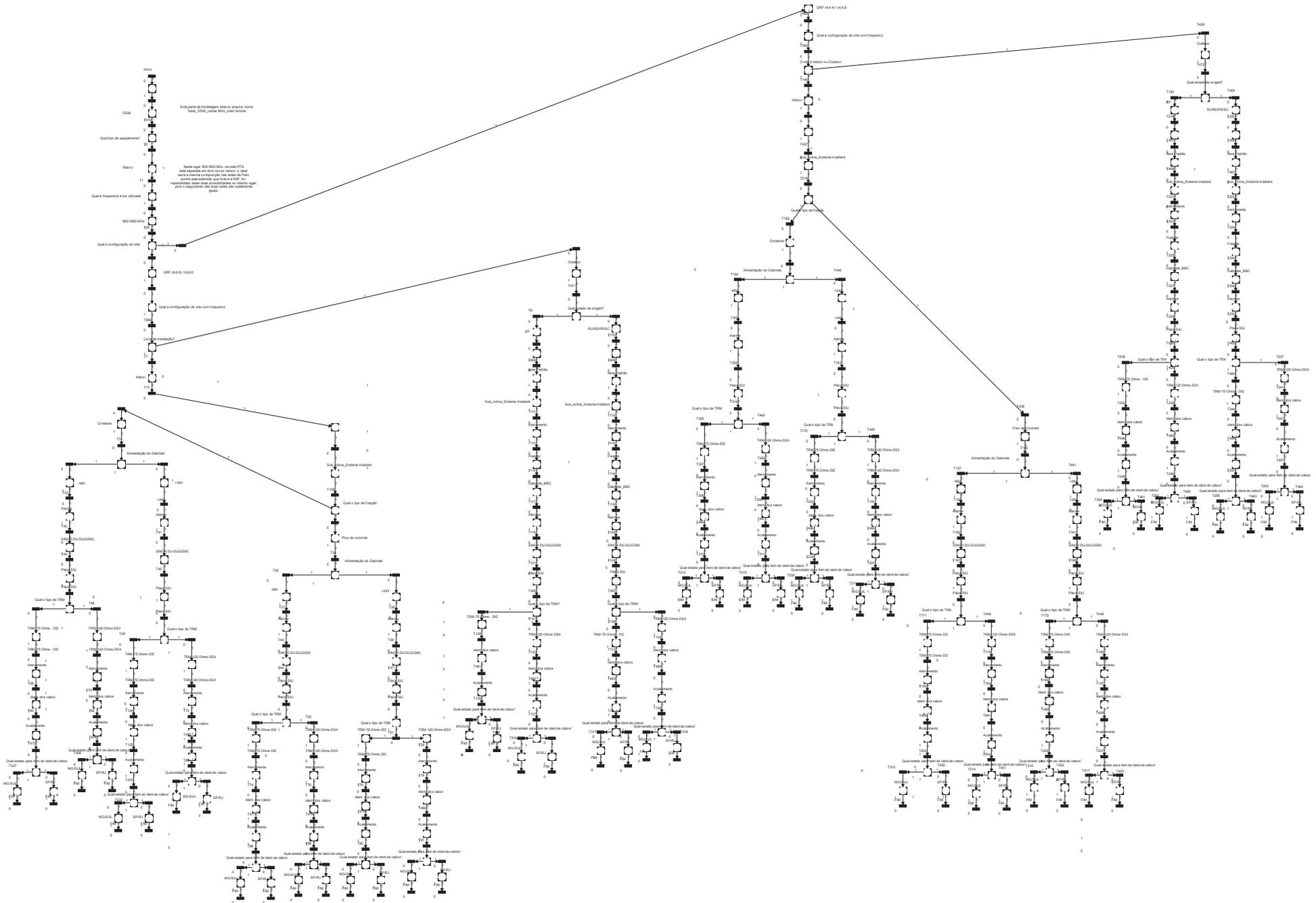
TUDE, Eduardo. **GSM**. Seção: Tutoriais Telefonia Celular, abr. 2003. Disponível em <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgsm/default.asp>>. Acesso 01 junh.2014.

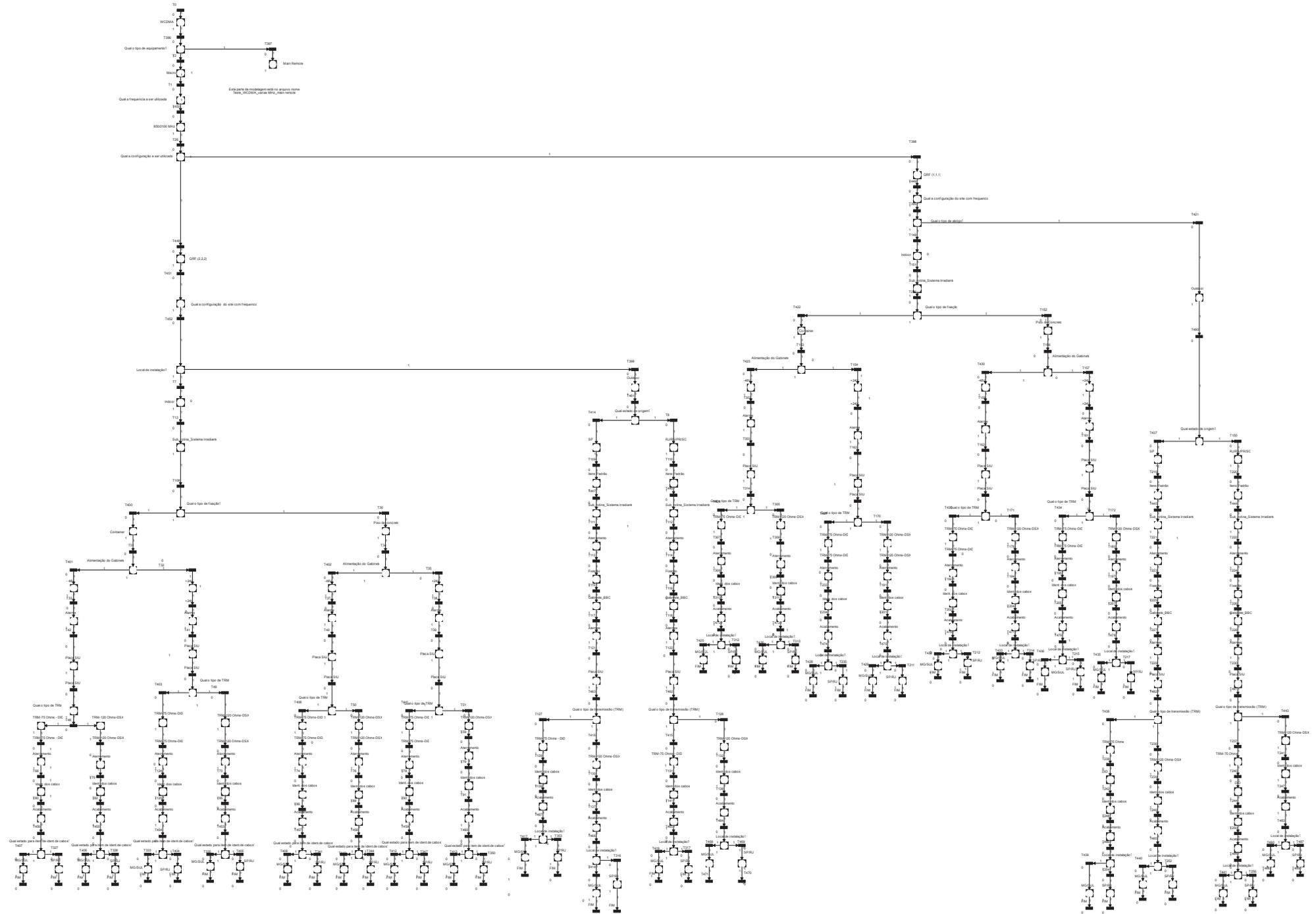
TUDE, Eduardo. **CDMA (IS-95)**. Seção: Tutoriais Telefonia Celular, abr.2003. Disponível em < <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcdma/default.asp>>. Acesso 01 junh.2014.

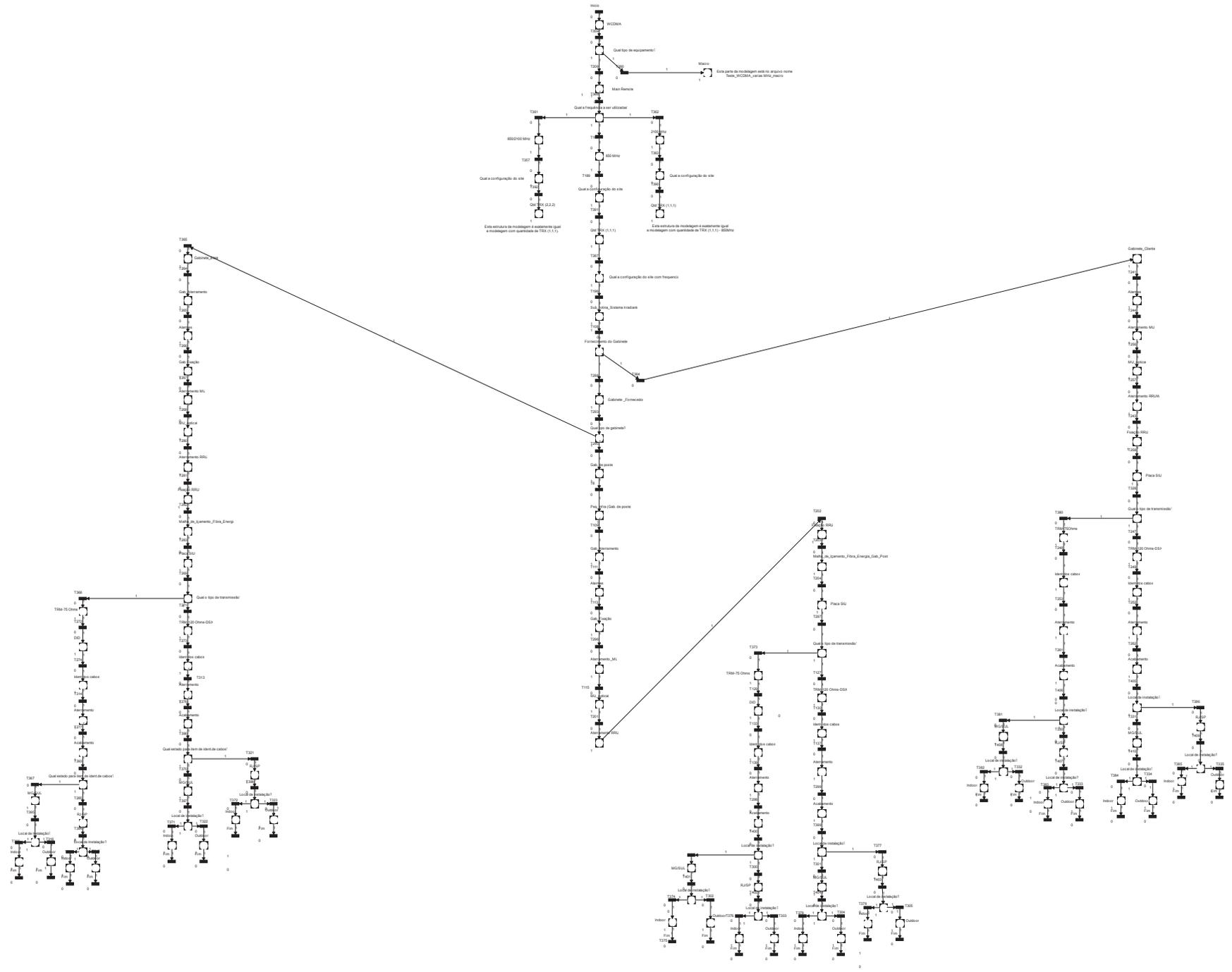
TUDE, Eduardo. **HSDPA: A Banda Larga do UMTS**. Seção: Tutoriais Telefonia Celular, maio, 2005 .Disponível em <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialhsdpa/default.asp>>. Acesso 01 junh.2014.

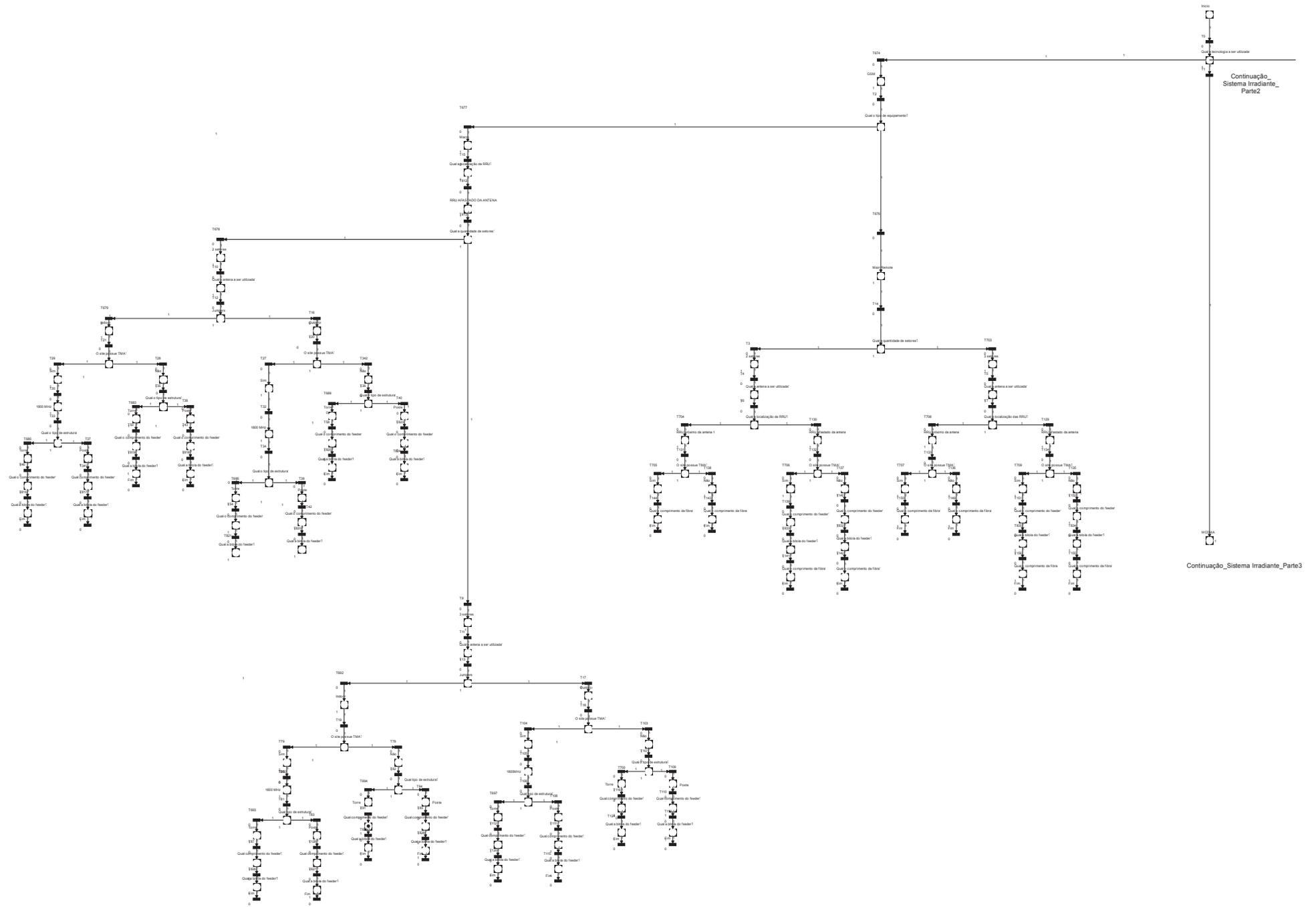
VAN DER AALST, W.M.P. **Putting high-level Petri nets to work in industry**. Department of Mathematics and Computing Sciences, Eindhoven University of Technology, Netherlands, 1994.

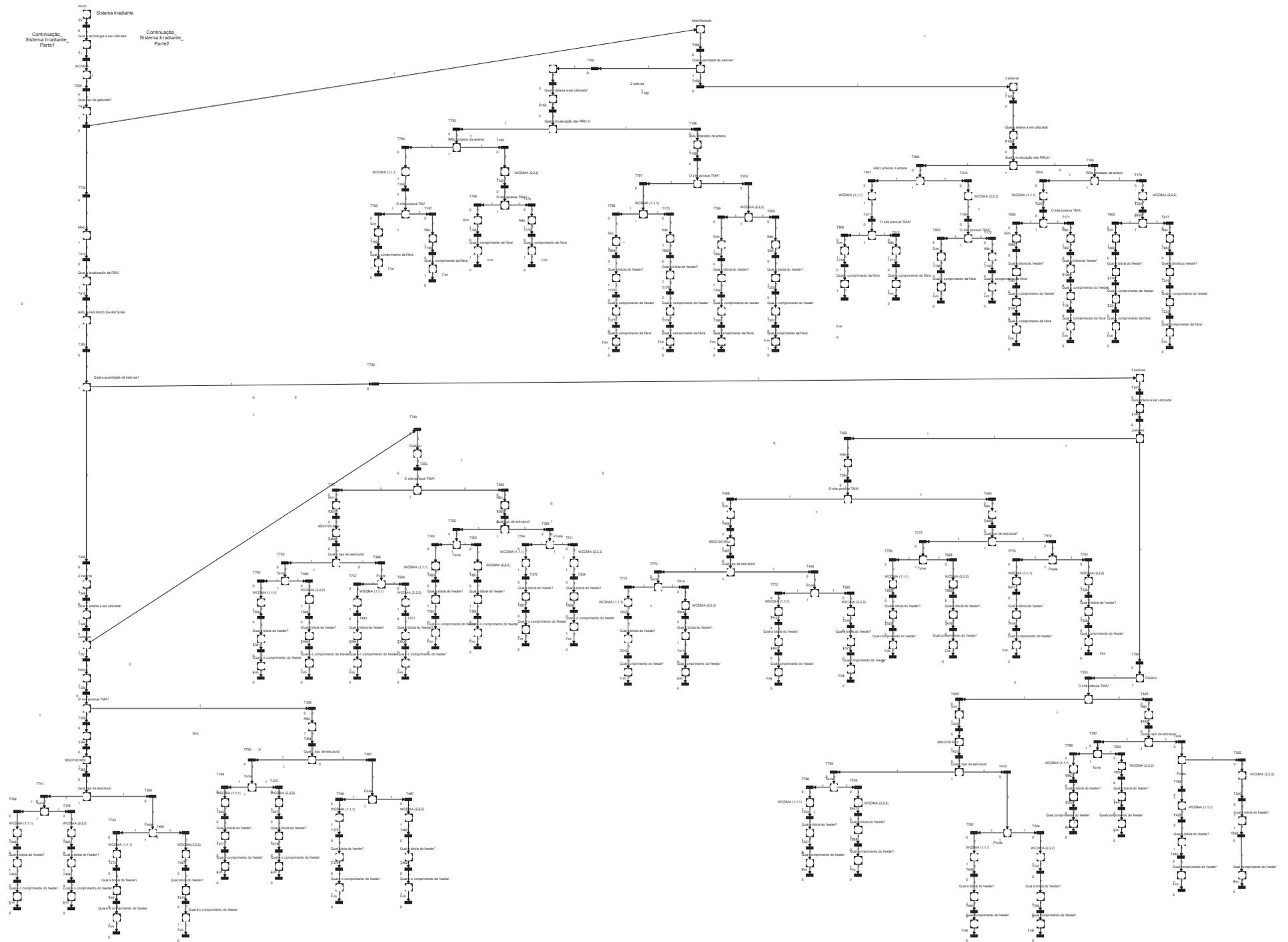
ZUBEREK, W.M., BLUEMKE, I. **Hierarchies of Place/Transition Refinements in Petri Nets**. Emerging Technologies and Factory Automation, IEEE Conference on, pag 355 – 360, vol.1, 1996.











Apêndice G: Infra estrutura

