

Metodologia de Desenvolvimento e Implementações de Agentes de Supervisão de Elementos de Rede para a Plataforma Distribuída SIS*

Rafael G. Rodrigues da Silva[†] *Márcio Migueletto de Andrade*[‡]

Henrique C. Moreira de Andrade[§] *José Marcos Silva Nogueira*

Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais
30161-970 Belo Horizonte, Minas Gerais

E-mail: {rafael,hcma,mar,jmarcos}@dcc.ufmg.br

URL <http://www.sis.dcc.ufmg.br>

Resumo

Este artigo descreve uma metodologia de construção de agentes para gerência de redes de telecomunicações. A sua utilização reduz o tempo e o custo de desenvolvimento, concentrando o esforço de implementação na comunicação entre agentes e objetos gerenciados e no mapeamento entre os modelos de informação do objeto e da plataforma de gerência. São também apresentados a interface agente/gerente e alguns agentes já construídos e em uso na planta da Telemig.

Abstract

This paper describes a methodology for building telecommunication management agents. Its utilization greatly reduces the time needed and therefore the cost of their development. The implementation effort is focused in the communication between agents and managed objects, and in the mapping between the object's information model and the platform's one. The agent/manager interface and some of the agents which were built through this methodology and which are effectively running on the Telemig's plant are also presented.

*Trabalho financiado pela Telemig S/A em convênio com o DCC/UFMG.

[†]Aluno de Mestrado do DCC/UFMG e Analista de Sistemas do Projeto SIS.

[‡]Mestre em Ciência da Computação pelo DCC/UFMG e Analista de Sistemas do Projeto SIS.

[§]Aluno de Mestrado do DCC/UFMG e Analista de Sistemas do Projeto SIS.

1 Introdução

Dirigida pela demanda por assegurar o funcionamento correto e eficiente dos equipamentos, processos e procedimentos, a gerência de redes tornou-se tão essencial quanto o *marketing* na venda de produtos. Ela auxilia as pessoas que fornecem e usam os serviços de informação e é parte fundamental da infra-estrutura e da globalização da comunicação.

Contudo, alguns elementos de incerteza exercem papéis dominantes nas redes de computadores e de telecomunicações: a complexidade das tarefas, os avanços tecnológicos, a compatibilidade com o que é *velho*, as restrições econômicas, a demanda dos usuários, a conformidade com os padrões e o *rightsizing* dos sistemas de computação. Todos estes problemas têm um denominador comum em seu equacionamento e solução: a **interoperabilidade**.

Nesse contexto, o gerenciamento integrado das redes depende basicamente do quão heterogêneos são os seus equipamentos. Normalmente, a integração destes é bastante complexa. As dificuldades são inúmeras: os protocolos proprietários não confiáveis; a baixa interação entre fabricantes, integradores e clientes; a má qualidade ou ausência de documentação; a falta de conhecimento sobre a operação e outros. A obtenção de informação sobre os equipamentos e os seus sistemas é o fator *sine qua non* para a sua integração e, conseqüentemente, para a sua gerência e interoperabilidade. Há casos em que se justifica, por necessidade, o uso de *engenharia reversa*, monitorando-se o que se passa pela linha, como solução dos problemas de acesso à informação.

Considerando-se esse quadro, o desenvolvimento de agentes de gerenciamento torna-se difícil, consome bastante tempo e é realizado *ad-hoc*. Há muitas decisões que devem ser tomadas, tais como: quais serviços oferecer e quais relacionamentos os agentes devem ter com o ambiente (isto é, com os recursos de hardware e software gerenciados, com as aplicações de gerência, etc). Geralmente, parte das dificuldades encontradas deve-se ao fato de as questões de projeto não serem separadas dos detalhes de implementação.

Alguns trabalhos já foram realizados na área de desenvolvimento de agentes [PHLB95, MIL94]. Contudo, em tais obras, preocupou-se em oferecer estruturas para criar agentes básicos que manipulassem algumas mensagens construídas dentro dos protocolos padrões de gerenciamento (SNMP¹ e CMIP²). Os modelos genéricos propostos esbarravam na ausência de capacidades e nas limitações de complexidade. Também já foi abordada a criação de agentes poderosos e, portanto, mais complexos, *delegando-se* as tarefas de gerência [GY91]. Entretanto, para agentes mais simples, tais abordagens se tornam excessivas, perdendo-se funcionalidade e eficiência.

Partindo-se dessas premissas, sentiu-se a necessidade de desenvolver e documentar o projeto e a realização de uma metodologia de desenvolvimento de agentes de supervisão. Tendo o SIS (Sistema Integrado de Supervisão) como plataforma distribuída de gerenciamento, identificou-se uma infra-estrutura genérica para e a sua comunicação com os agentes. Criou-se então, uma interface de acesso que contém as primitivas de gerenciamento requeridas. Além disso, sistematizou-se o comportamento e a comunicação entre os agentes e os recursos gerenciados.

Esta metodologia de construção acelera o processo de desenvolvimento de agentes. Ela

¹ Simple Network Management Protocol é o protocolo de gerência de redes para o modelo Internet [CFSD90].

² Common Management Information Protocol é o protocolo de gerência de redes baseado no modelo OSI [CCIB].

retira do programador o projeto de componentes, serviços e interface com o sistema de supervisão, permitindo a ele concentrar na *customização* do agente.

Através deste processo, foram integradas à plataforma SIS as supervisões de elementos de rede (NE)³ de diferentes fabricantes: centrais telefônicas analógicas, digitais e celulares, sistemas de transmissão, estações de trabalho, equipamentos computacionais, etc.

O restante deste artigo está organizado como se segue. A seção 2 descreve a plataforma SIS. A seção 3 apresenta sucintamente a interface de comunicação entre o SIS e os NEs. A seção 4 descreve a metodologia de desenvolvimento e o modelo de agentes. A seção 5 apresenta os agentes concebidos sob esta metodologia. A seção 6 conclui o artigo com um sumário dos agentes implantados e com as perspectivas futuras de trabalho.

2 O Sistema Integrado de Supervisão - SIS

O Sistema Integrado de Supervisão (SIS) compreende uma plataforma distribuída de gerenciamento de redes de computadores e de telecomunicações, que foi desenvolvida pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e pela Companhia de Telecomunicações do Estado de Minas Gerais (Telemig), sendo o seu projeto financiado por esta empresa [NOG93, NOG95].

Seu objetivo é o de atender as necessidades de supervisão de uma planta de telecomunicações extensa, distribuída e heterogênea, que contém equipamentos das áreas de transmissão, comutação, rede externa, infra-estrutura, comunicação de dados e outras [MEI91].

Por possuir uma arquitetura modular e expansível, o SIS viabiliza a integração de sistemas de gerência de diferentes fabricantes, protocolos e tecnologias em uma plataforma, interface e base de dados referenciais, não necessariamente restritas ao âmbito da Telemig. Além de oferecer **interoperabilidade** entre sistemas de supervisão, o SIS também provê **operabilidade**, ou seja, fácil operação, administração, desenvolvimento e manutenção, bem como a confiabilidade e desempenho necessários.

Seu serviço de interface homem-máquina fornece o suporte adequado à apresentação uniforme das informações e à interação entre operadores, administradores e aplicações de gerência. A sua interface gráfica dispõe de requintes na apresentação de listas e tabelas de informações, detalhes topológicos em múltiplos níveis, facilidades de navegação na hierarquia de supervisão da planta, funcionalidades de operação dirigidas por menus e janelas de ajuda, além de o ambiente ser completamente configurável e seguir o padrão MOTIF.

As suas aplicações interagem com sua base de dados distribuída através de interfaces genéricas. Isto torna a plataforma praticamente independente de um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD).

Os módulos do sistema comunicam-se segundo o paradigma de programação distribuída *cliente-servidor*, implementado pelas facilidades de RPC⁴.

Durante a fase de projeto, foi prevista a portabilidade do sistema para arquiteturas RISC e sistema operacional UNIX. A operação do SIS é feita através de máquinas SUN

³O Elemento de Rede ou *Network Element* corresponde a um grupo de itens de equipamentos ou partes de equipamentos pertencentes ao ambiente de telecomunicações.

⁴*Remote Procedure Call* é uma interface de programação de aplicação para a realização da comunicação em alto nível. Ele permite que aplicações de rede sejam desenvolvidas através de chamadas a procedimentos remotos.

do tipo *Sparc Station* e sistemas *SunOS-4.1.3U1* e *SunOS-5.4*.

Todas estas características tornam o sistema robusto e eficiente na percepção e no isolamento de falhas. Atuando nas áreas de **gerenciamento de falhas** e de **configuração**, a sua plataforma permite a monitoração de recursos através de uma interface *quasi-TMN*. A estratégia de desenvolvimento adotada visa a sua compatibilização gradual com os padrões do ITU-T para a TMN [MEI92].

Atualmente, o sistema encontra-se totalmente implantado, distribuído em uma grande área geográfica. Ele está apto a coletar, armazenar, transferir e processar os mais variados tipos de dados provenientes de milhares de pontos, bem como a executar ações em centenas de elementos da planta [NM96].

2.1 A Arquitetura Funcional do SIS

O SIS apresenta uma estrutura hierárquica de três níveis de unidades centrais, como é ilustrado na figura 1a. Tal disposição reflete a organização de centros de operação e manutenção adotada pela maioria das companhias de telecomunicações.

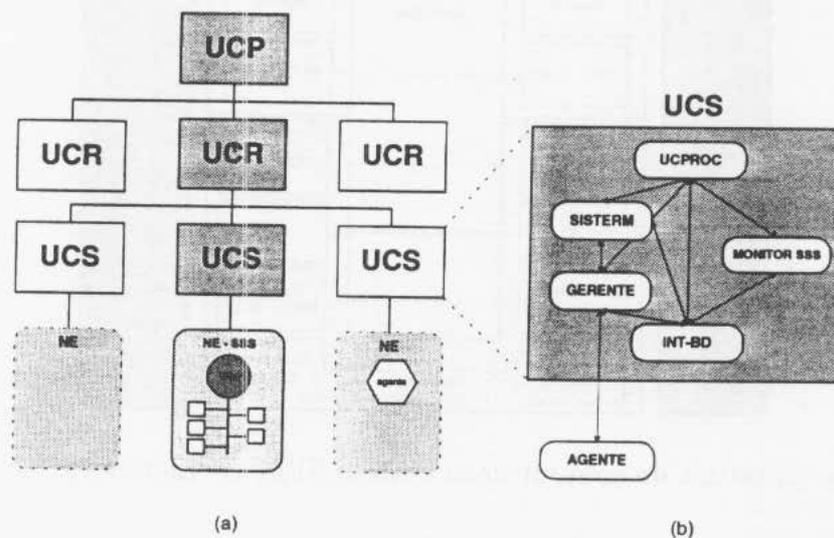


Figura 1: Arquiteturas do SIS: (a) funcional e (b) de software.

Tem-se assim as Unidades Centrais Principal (UCP), Regional (UCR) e Secundária (UCS). Situada no nível mais alto, a UCP é responsável pelo gerenciamento de toda a planta. As UCRs e UCSs permitem a operação autônoma das plantas de região e sub-região, respectivamente. Situadas no nível hierárquico mais baixo, as UCSs são os *pontos de contato* entre os diversos sub-sistemas de supervisão (SSS) e a plataforma SIS. A UCS também é responsável pelo interfaceamento entre os NEs e o SIS.

2.2 A Arquitetura de Software

O software do SIS foi projetado de tal forma que os mesmos programas fossem configurados e instalados para atuarem com um módulo lógico, quer seja uma UCP, UCR ou UCS. Há um grande flexibilidade de alocação dos módulos e seus processos em computadores. A configuração do sistema é armazenada no banco de dados.

Há basicamente quatro famílias de software: a de acesso (*Gerentes, Monitores e Agentes de Supervisão*); a de interface com o SGBD (*InterfaceBD*); a de interface homem-máquina (*Sistterm*); e a de gerência do sistema (*UCproc*). A figura 1b apresenta as interações entre os módulos do sistema.

3 A Comunicação SIS/NE

3.1 A Arquitetura de Comunicação SIS/NE

Numa macro visão, observa-se que a estrutura de comunicação entre a plataforma SIS e os NEs está organizada em camadas, assim como está ilustrado na figura 2.

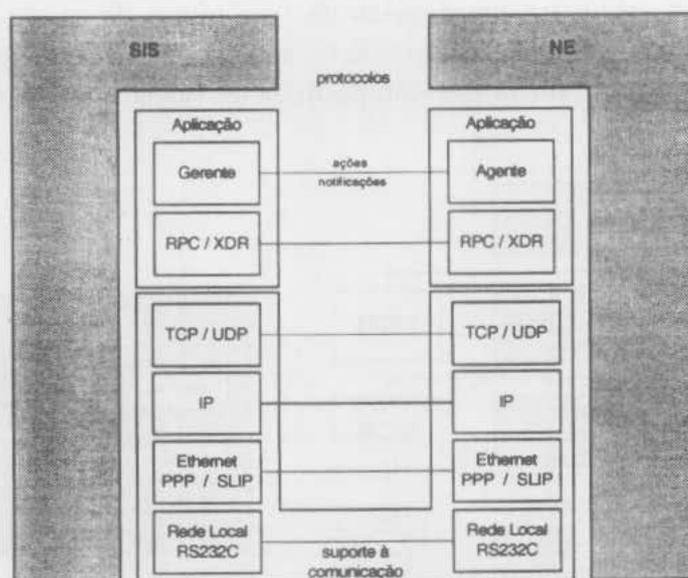


Figura 2: A arquitetura de comunicação entre o SIS e os Elementos de Rede (NEs).

A **camada de suporte à comunicação** transporta mensagens entre entidades de aplicação. Seu serviço foi implementado pelos protocolos TCP/IP⁵. A interconexão de aplicações de gerência pode ser feita por interfaces seriais ou de rede local.

A **camada de aplicação** possibilita as interações entre agentes e gerentes, através da troca de mensagens. Ela engloba as funções das camadas de sessão e apresentação do modelo OSI. Na comunicação em alto nível, a representação e a transferência de dados são feitas por RPC/XDR⁶ [BLO92].

3.2 A Arquitetura de Gerenciamento

O gerenciamento da planta de telecomunicações é realizado por funções específicas da camada de aplicação. Chama-se **MIS-User** uma entidade de aplicação distribuída que implementa e utiliza as funções de gerenciamento [BRI93, STA93]. Atuando como um

⁵ *Transport Control Protocol* e *Internet Protocol* são os protocolos responsáveis pela camada de transporte e a de rede no modelo Internet, respectivamente.

⁶ *eXternal Data Representation* é um padrão de descrição, codificação e transferência de dados independente da arquitetura da máquina.

agente, uma entidade MIS-User atende os pedidos de ações⁷ emitidos pelo gerente. Ele ainda pode enviar ao gerente os resultados obtidos, bem como as notificações⁸ provenientes dos recursos gerenciados. Na função de gerente, um MIS-User supervisiona seus NEs e agentes, enviando de ações e recebendo notificações.

A figura 3 apresenta a arquitetura de gerenciamento adotada pelo SIS. A camada de aplicação é dividida em duas sub-camadas: a de serviços comuns de gerenciamento e a de funções de gerenciamento de sistemas [NBMD94].

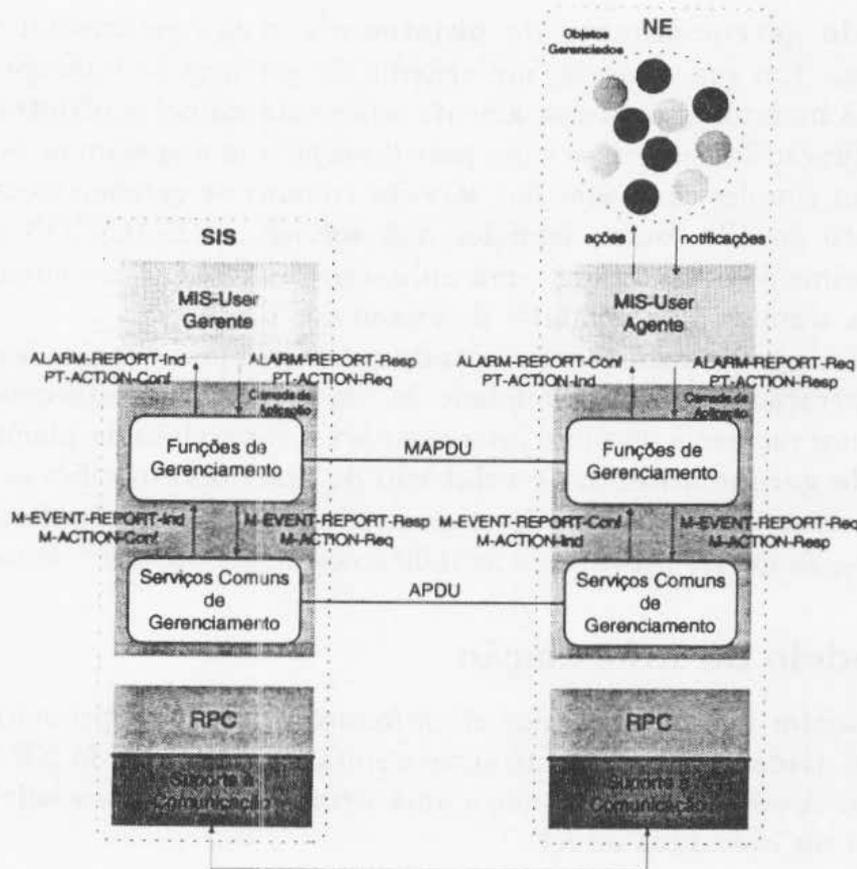


Figura 3: A arquitetura de gerenciamento do SIS. A interface SIS/NE.

3.2.1 A Sub-Camada de Serviços Comuns de Gerenciamento

Define serviços de informação *CMIS-Like*⁹ e a comunicação remota para o gerenciamento de sistemas abertos [CCIA]. Atualmente, encontram-se implementados os serviços de M-EVENT-REPORT, para as notificações, e de M-ACTION, para as operações de gerência. Eles são alcançados através de suas primitivas, mapeadas em chamadas e retorno de rotinas.

As descrições das estruturas de dados, protocolos e operações dos serviços oferecidos por esta sub-camada encontram-se em [NBMD94].

⁷ Ações são operações realizadas sobre os recursos gerenciados. A cada recurso associa-se um conjunto de ações com semântica própria.

⁸ Notificações são mensagens emitidas pelos recursos na ocorrência de eventos internos.

⁹ Conhecido no mundo OSI pelo termo CMIS ou *Common Management Information Service*.

3.2.2 A Sub-Camada de Funções de Gerenciamento de Sistemas

Comporta as funções de gerenciamento de sistemas, especificadas para as cinco áreas funcionais: falhas, desempenho, segurança, configuração e contabilização [LF95].

O SIS suporta as funções de gerenciamento de objeto [CCId], gerenciamento de estado [CCIE] e relatório de alarmes [CCIf]. Elas são chamadas diretamente pelas suas aplicações de gerência.

A função de gerenciamento de objetos é a mais fundamental na gerência de sistemas abertos. Em sua essência, um sistema de gerência se interage com os recursos submetidos à monitoração, abstratamente representados pelos **objetos gerenciados** [BLA94]. Esta função fornece os serviços *pass-through*, que mapeiam os pedidos de ações e notificações em simples chamadas dos serviços comuns de gerenciamento. No modelo de gerenciamento do SIS, foram definidos dois serviços: PT-ACTION e PT-EVENT-REPORT. O primeiro é usado por uma aplicação de gerência no envio de ações. O segundo suporta a emissão de relatórios de estado dos NEs.

A função de gerenciamento de estado provê a representação das condições instantâneas de operação e de disponibilidade de um recurso. O conhecimento do estado operacional de um recurso é de sumo interesse para a supervisão da planta.

A função de gerenciamento de relatório de alarmes especifica as notificações de alarmes genéricos, seus atributos e valores associados. As informações fornecidas incluem os tipos de erros, as causas prováveis e as indicações de severidade¹⁰ de cada alarme.

3.3 O Modelo de Informação

As classes de objetos identificadas são: *alarmRecord* e *action*. A primeira, definida pela norma [CCIC], é usada no mapeamento entre a sintaxe de alarmes do NE e a manipulada pela plataforma. A segunda corresponde a uma *string* e um tipo associado¹¹, que indicam uma operação a ser executada no NE.

3.4 A Interface Gerente/Agente

Implementada sob o paradigma de programação distribuída *cliente-servidor*, a interface agente/gerente do SIS permite o rápido desenvolvimento de agentes de supervisão. Ela esconde os detalhes de implementação da comunicação agente/SIS, bem como parte de seu funcionamento. Para o implementador de agentes são transparentes: a inicialização do servidor de operações, o estabelecimento e o fechamento de conexões de relatórios de estado, relatórios de alarmes e ações e a monitoração da permanência de falhas nos NEs.

Além disso, pelo fato de os agentes e os gerentes executarem em máquinas normalmente distantes entre si e conectadas por meios não confiáveis, criou-se mecanismos para garantir o funcionamento da interface e do agente em condições adversas. Pode-se citar, por exemplo, o *log* ou fila de saída de eventos em disco, que garante o envio correto de alarmes

¹⁰De acordo com a norma [CCIf], são os seguintes os níveis de severidade de alarmes: *cleared*, *warning*, *minor*, *major*, *critical* e *indeterminate*.

¹¹Os tipos de *action* encontrados no SIS são: execução de comandos, atualização de eventos, abertura e fechamento de sessões, obtenção de lista de comandos, ligação/desligamento de assinantes e reinicialização do agente.

ao sistema¹².

No projeto da interface, foram consideradas as possibilidades de construção de agentes em diferentes plataformas de hardware. O código-fonte de seus módulos foi escrito na linguagem C, de forma que os compiladores existentes aceitassem-no sem muitas alterações¹³.

Foram criadas bibliotecas de objetos (alarmes, eventos e ações) e primitivas de acesso. Há também bibliotecas de apoio que fornecem funções auxiliares para manipulações das estruturas de dados utilizadas [NBMD94].

A tabela 1 apresenta as primitivas da interface agente/gerente implementada.

Primitiva	Parâmetros	Descrição
MisAgentInit	mngHostName, mngId, mode, agtObjClass, agtObjInst, stRepInterv, dirPath	Inicializa o servidor de <i>action</i> do agente, sua fila de saída de registros de eventos ou <i>log</i> , em disco, e o intervalo de tempo de envio do seu estado de operação.
MisAlarmReport	mngdObjClass, mngdObjInst, evType, evTime, evInfo	Armazena um alarme no <i>log</i> .
MisTick		Reporta o estado do agente e trata o <i>log</i> .
MisRetUndelivAR	alarm (de retorno)	Recupera um registro de alarme do <i>log</i> em casos de erro de transmissão.
MisSelect		É o <i>despachante</i> de serviços do agente. Ela verifica a chegada de pedidos de <i>action</i> e aciona o tratador correspondente.
MisAgentDisable		Envia o estado de uso BUSY, que indica que o agente não pode receber requisições.
MisAgentEnable		Restabelece o estado de uso do agente, anterior à chamada de MisAgentDisable.
MisExecuteAction	invId, baseObjClass, baseObjInst, actionInfo, actionResp	É a função que deve ser implementada pelo desenvolvedor de agentes, especifica para cada elemento de rede gerenciado.
MisInitARList	alarmRecList	Inicializa uma lista de registros de alarme.
MisAppendARToList	alarmRecList, alarm	Adiciona um registro de alarme à fila indicada.
MisUpDateARList	alarmRecList	Processa a lista de registros de alarmes, comparando-a com estruturas internas do agente, identificando os alarmes novos e o término de alarmes monitorados, enviando as notificações correspondentes ao gerente.
MisDestroyARList	alarmRecList	Destrói a lista de registros de alarmes.
MisAgentClose		Finaliza o servidor de <i>action</i> e o processo do agente.

Tabela 1: As primitivas da interface agente/gerente.

4 A Concepção de Agentes Genéricos

Os agentes de supervisão funcionam como dispositivos intermediários entre o SIS e os NEs. Seus componentes podem ser separados em três partes distintas:

- **A interface com o NE:** abrange os aspectos de comunicação entre os agentes e a planta de telecomunicações, nos níveis de serviços e protocolos.

¹²Nesse contexto, o termo *correto* possui dois sentidos: o cronológico, no qual se respeita uma estrutura de fila de arquivos em disco, e o de segurança, que assegura a retirada de um arquivo da fila e, conseqüentemente, do disco local, somente após a confirmação de sua presença no banco de dados do SIS.

¹³Para microcomputadores do padrão IBM-PC, utilizou-se as facilidades de RPC e da pilha TCP/IP oferecidas pelo *kit* de desenvolvimento PCTCP, da *FTP Software Incorporation*.

- **O mapeamento de dados:** engloba as análises léxica e sintática das informações recebidas do NE, bem como a sua conversão para o modelo estabelecido pela plataforma de gerência e vice-versa.
- **A interface com o gerente:** mencionada na seção 3.4, envolve as interações entre agentes e gerentes, através de primitivas pré-estabelecidas de comunicação.

Portanto, os agentes de supervisão implementam dois tipos de comunicação: entre eles e os NEs e entre eles e os gerentes. Destas duas, somente a primeira é objeto de esforço real de desenvolvimento na plataforma SIS, a cada nova integração.

4.1 A Especificação Estrutural

Sob o ponto de vista de um implementador, a estrutura geral de um agente pode ser vista como ilustrado na figura 4. Ela está organizada em camadas assim como a arquitetura de gerenciamento do SIS.



Figura 4: A arquitetura de um agente genérico.

A camada superior de comunicação com o SIS ou de funções MIS-User corresponde à camada de aplicação da arquitetura de comunicação SIS/NE e suas sub-camadas (veja a seção 3.1).

Observa-se a existência de módulos isolados, responsáveis pela configuração do agente e o *log* de alarmes pendentes de transmissão. Eles manipulam arquivos no disco local da máquina hospedeira do agente. O módulo de *log*, assim como a interface agente/gerente, é portátil para diferentes tipos de hardware e sistemas operacionais.

4.1.1 A Comunicação com o NE

A **camada física** da comunicação com o NE controla a linha física e os modems (inicializações, comandos, parâmetros, término e outros). Os agentes e os NEs podem interconectar-se através de interfaces de redes locais ou de linhas seriais.

A **camada de enlace** suporta a recepção e o envio de quadros. Ela pode ser implementada tanto pelos protocolos proprietários quanto pelos padronizados, tais como o HDLC e o LAPB. Em alguns casos, como o da utilização de protocolos *tty*, ela é praticamente inexistente.

A **camada de parser específico e as outras camadas** implementam o mapeamento de dados, as sub-camadas superiores da arquitetura de gerenciamento¹⁴ e a comunicação com o NE. Estas são as que consomem a maior parte do tempo e esforço de implementação.

4.2 O Modelo Comportamental

Quanto à supervisão de NEs, o comportamento de um agente pode ser dirigido, basicamente, por dois aspectos: o envio de alarmes dos NEs para aos agentes e o número de NEs e objetos gerenciados.

4.2.1 O Aspecto do Envio de Alarmes dos NEs aos Agentes

A transmissão de alarmes para os agentes pode ser feita espontaneamente pelo NE ou por interrogação do gerente. Então, a supervisão da planta pode ser realizada de três formas:

- *Polling*: é necessária quando não há comunicação espontânea no sentido NE → agente. Isto implica na interrogação periódica dos NEs, a fim de detectar-se o aparecimento e o término de alarmes.
- Chegada de eventos: implica na retransmissão de alarmes recebidos dos NEs para o gerente. Para cada alarme, o NE envia o seu término ao agente.
- Supervisão mista: é adotada nos casos em que o NE envia o alarme, na presença da falha, mas não o seu término. Então, o agente deve realizar o *polling*, para saber quando um determinado alarme se encerrou¹⁵.

Para os casos em que o *polling* de NEs se faz necessário, identificou-se e automatizou-se a utilização de listas de monitoração de alarmes presentes no NE. Ao invés de simplesmente enviá-los, um por um, ao gerente, o agente passa a operar por listas. A interface agente/gerente oferece as funções de apoio para que isto seja realizado[veja a tabela 1]. Assim, as bases de dados do SIS e os alarmes presentes nos NEs são mantidos consistentes.

4.2.2 O Aspecto do Número de NEs e Objetos Gerenciados por Agente

A distribuição de equipamentos por NE e de NEs por agente pode variar de acordo com as necessidades dos centros de operação. Então, para um agente, podem ser configurados:

¹⁴Por exemplo: as camadas IP, TCP e de aplicação, para o SNMP, as demais camadas da pilha Q3 para o CMIP.

¹⁵Para o SIS, o fim de um alarme corresponde a um outro alarme com os mesmos valores de atributos do anteriormente gerado, porém, com severidade *cleared*.

- **Múltiplos NEs com múltiplos objetos gerenciados:** quando é necessária a supervisão através de ciclos de interrogação para cada NE e para cada objeto gerenciado.
- **Um NE com múltiplos objetos gerenciados:** é um sub-caso da anterior, para um conjunto bem identificado de objetos.

Nestes casos, o implementador deve observar as dificuldades de se sincronizar os ciclos de *polling*, as chamadas de *Event Report* aos gerentes e os pedidos de *action* ao servidor do agente.

4.3 O Kit de Construção de Novos Agentes

O *kit* de construção de agentes é um conjunto de rotinas e módulos de software para auxiliar o desenvolvimento de novos agentes. As suas facilidades englobam: o controle de linhas seriais e dispositivos UNIX, a configuração de modems para linhas dedicadas e discadas, alguns pacotes de implementações de serviços e protocolos padronizados¹⁶, e os modelos de agentes, de acordo com suas especificações funcionais.

O implementador pode escolher o modelo e as rotinas convenientes para o gerenciamento do NE desejado, montando uma *base* de código fonte do agente. Assim, o *kit* de construção automatiza grande parte do processo de construção.

4.4 A Metodologia de Desenvolvimento

A metodologia adotada apresenta as seguintes etapas de construção de agentes de supervisão para a plataforma SIS:

1. A aquisição de informações do NE e dos objetos gerenciados: é a fase inicial e mais importante. Normalmente, há muitas dificuldades de obtenção de informações sobre os equipamentos. As bases de informação ou MIBs¹⁷ e o gerenciamento através de protocolos padrões são adotados por poucos equipamentos da planta real. Por ter um modelo de informação simples, o SIS permite a integração da supervisão de uma ampla faixa de NEs.
2. A determinação da infra-estrutura de supervisão: identifica a estrutura e o suporte de supervisão embutidos no NE. Em princípio, um agente deve fornecer uma gama maior de subsídios aos operadores do que o antigo procedimento de supervisão. Esta é a fase de estabelecimento de contato com o setor de operação da planta.
3. O projeto da arquitetura de comunicação: determina a estrutura de comunicação entre o agente e o NE. Na maioria dos casos, os pacotes de comunicação implementados pelo *kit* de construção são utilizados nesta fase.
4. A construção dos módulos de ações e *parser*, específicos dos agentes: estabelece o mapeamento entre os modelos de comunicação adotados pelo NE e pelo SIS. O processo de identificação e extração das informações é feito por um *parser* das

¹⁶São fornecidas algumas interfaces de aplicação para o SNMP, o CMIP e o X.25.

¹⁷*Management Information Bases* são os repositórios de dados dos sistemas de gerência. Guardam a sintaxe e o comportamento dos objetos gerenciados.

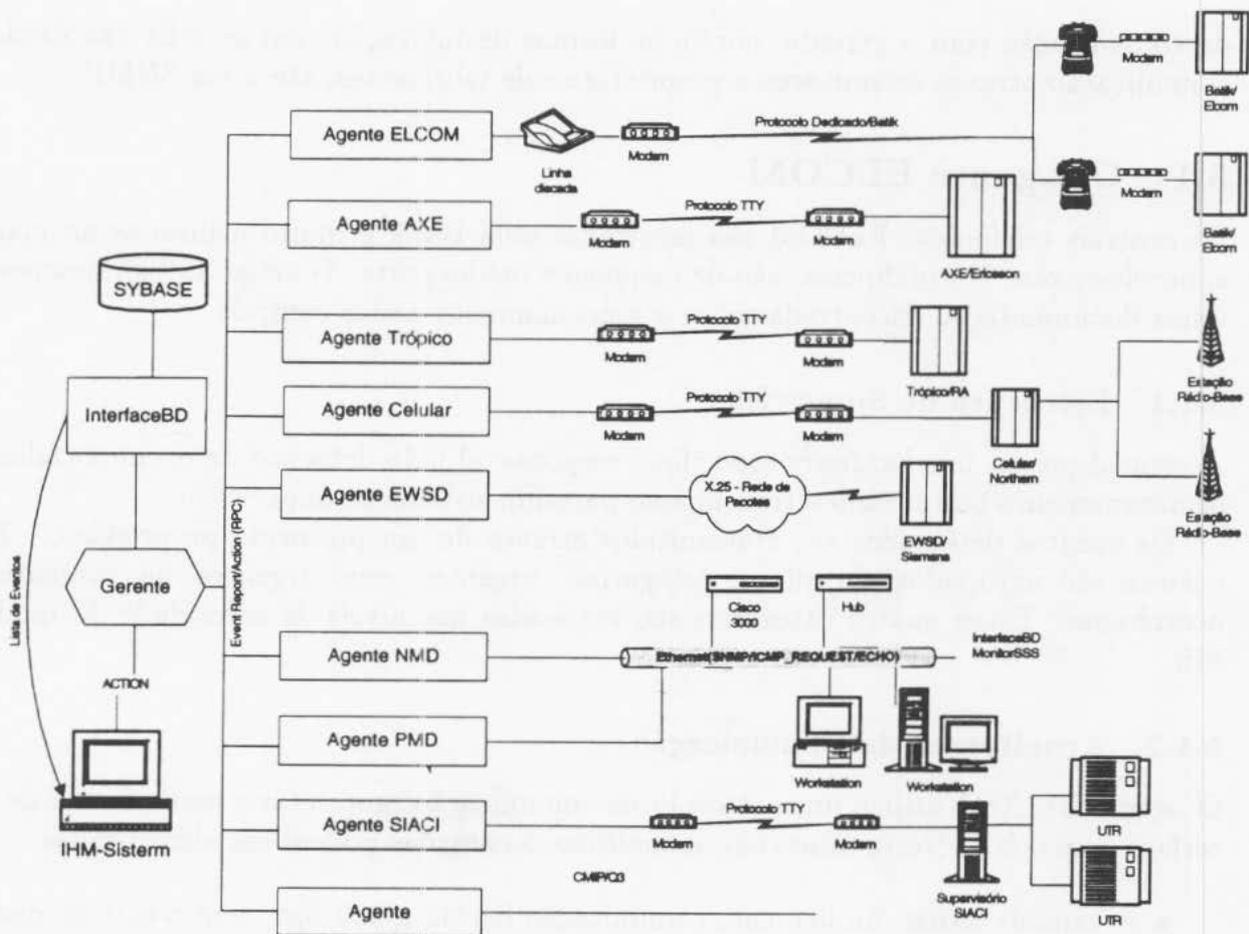


Figura 5: O panorama da integração de elementos de rede (NEs) ao SIS.

mensagens oriundas do NE. Nesta etapa, também é escrito o código de execução de ações pré-definidas para os objetos gerenciados.

5. A realização de testes com a planta: esta também é uma fase de suma importância. Muitas vezes o teste aciona, simultaneamente, implementadores de agentes, pessoal de suporte, manutenção e administração e outros. Esta etapa verifica e valida todo o processo. Em alguns casos, o resultado de falhas no funcionamento implica na revisão das etapas anteriores. É interessante notar que, quase sempre, não se tem elementos de rede disponíveis para teste por todo o tempo necessário. Na maioria das vezes, os NEs utilizados estão em operação normal da planta.

5 O Uso da Metodologia: os Agentes Implementados

Vários agentes para interação com NEs diversos já foram implementados segundo esta metodologia e estão em uso na planta de supervisão. A figura 5 mostra o panorama atual de integração de NEs ao SIS. Eles utilizam o mesmo modelo estrutural e interface

de comunicação com o gerente, porém as formas de interação com os NEs vão desde a comunicação através de protocolos proprietários de fabricantes, até a via SNMP.

5.1 O Agente ELCOM

As centrais telefônicas ELCOM são fabricadas pela Batik e muito utilizadas na planta supervisionada. Normalmente, são de pequeno e médio porte. O artigo [SF95] descreve a única documentação encontrada sobre o funcionamento destas centrais.

5.1.1 Estrutura de Supervisão

A central possui um *hardware* específico, responsável pela detecção de eventos (falhas), armazenamento temporário e transmissão para um sistema de supervisão.

Os eventos detectados são transmitidos através de um protocolo proprietário. Tais eventos são agrupados em quatro categorias: urgentes, semi-urgentes, não urgentes e ocorrências. Estas quatro categorias são mapeadas nos níveis de severidade do modelo SIS.

5.1.2 Arquitetura de Comunicação

O agente ELCOM utiliza um protocolo de comunicação proprietário como forma de interface com o NE. Neste protocolo, monolítico, 3 camadas podem ser identificadas:

- A camada física: implementa comunicação RS232 a 300 bps, com 8 bits de dados, sem paridade e através de linha discada convencional.
- A camada de enlace: implementa um protocolo janela deslizante de tamanho 5 e confirmação por carona. Os quadros são armazenados em *buffers* circulares.
- A camada de aplicação: implementa uma comunicação onde ambos, agente e central, podem estabelecê-la. Numa sessão de supervisão, a central envia os alarmes urgentes e/ou semi-urgentes pendentes de transmissão. Além destes, o agente interroga por alarmes posicionados e termina a conexão.

5.1.3 Especificação e Projeto

Cada agente pode interagir com um conjunto de centrais ELCOM, através do atendimento de chamadas, recebimento e monitoração de alarmes. Ao receber os alarmes urgentes e semi-urgentes, o agente passa a monitorá-los por *polling*, pois a central não envia o fim de alarme. Após cada interrogação, é estabelecida uma comparação entre os alarmes monitorados pelo agente e os que estão presentes na central, a fim de se determinar e enviar o fim de um dado alarme. Este é, nitidamente, um caso de supervisão mista.

5.2 O Agente AXE

O agente AXE supervisiona centrais telefônicas AXE, fabricadas pela Ericsson. Várias destas centrais são de grande porte [AND95].

5.2.1 Estrutura de Supervisão

As falhas detectadas pela central são agrupadas em níveis de severidade que são diretamente mapeados no modelo SIS.

O agente AXE possui um módulo de auto-supervisão que informa ao gerente anomalias, tais como: diferença maior que cinco minutos entre o relógio da central e o da máquina que hospeda o processo agente e central não responde à operação de colocá-la em modo de recepção comando.

5.2.2 Arquitetura de Comunicação

A comunicação com o agente é feita através de interface RS232 com parâmetros configuráveis.

5.2.3 Projeto do Agente

O agente supervisiona a central através de uma interface *tty*, por onde são enviados mensagens e alarmes espontâneos e comandos por parte dos operadores.

Funcionalmente, o agente pode estar ou interrogando a central em busca de alarmes, quando não conhece o estado do equipamento, ou aguardando alarmes espontâneos, ou repassando à central comandos enviados pelo gerente. A supervisão é feita por *polling*.

5.3 Os Agentes PMD e NMD

Os agentes PMD e NMD foram concebidos para supervisionar as máquinas, os processos e a integridade da rede SIS. Estes agentes tem a função de colaborar na função de auto-supervisão do sistema [AP95].

5.3.1 NMD - Network Monitoring Daemon

O agente NMD supervisiona quaisquer elementos que possuam um endereço IP, como, por exemplo, estações de trabalho, X-terminais, *hubs*, etc.

A supervisão tem como objetivo verificar se o elemento responde a uma das seguintes formas de interrogação:

1. *ping* - A comunicação do agente com o elemento é feita utilizando o protocolo do comando **ping**, isto é, através do envio de pacotes ICMP ECHO-REQUEST e da recepção de pacotes ICMP ECHO-RESPONSE.
2. *echo* - A comunicação utiliza o serviço **echo** do UNIX, através da porta 7.
3. *SNMP* - A comunicação é feita através do envio de pacotes SNMP. O agente interroga variáveis da MIB-II [MR91].

Após o envio destas mensagens, o estado do elemento torna-se conhecido e o agente monta um mensagem no modelo SIS e a envia para o gerente. Observa-se que este agente atua como um *proxy* [STA93, BLA94], mapeando os serviços do SNMP para o CMIS-Like do SIS.

5.3.2 PMD - *Process Monitoring Daemon*

O agente PMD supervisiona os processos pertencentes às UCs (Unidades Centrais) do SIS. A supervisão consiste em verificar se o elemento responde ou não a interrogações através da chamada do procedimento NULLPROC. Este procedimento é oferecido pelos processos servidores RPC. Ao ser constatado o estado do processo, o agente monta uma mensagem no modelo SIS e a envia ao gerente.

5.3.3 Considerações comuns

Estes agentes possuem arquivos de configuração que determinam quais máquinas ou processos eles devem supervisionar. Normalmente, eles são agentes que supervisionam um NE com múltiplos objetos gerenciados.

5.4 O Agente SIACI

O SIACI, Sistema Integrado de Alarmes e Coleta de Impulsos, foi projetado pela UFMG em convênio com a Telemig e é fabricado por várias empresas brasileiras.

5.4.1 Estrutura da Supervisão

O SIACI consiste em um *software* de supervisão, residente em PC, denominado COS, que se comunica por linha comutada com Unidades Terminas Remotas (UTRs), através de um protocolo proprietário. O *software* fornece uma interface com o operador, que permite a coleta de alarmes e informações de contadores de centrais telefônicas, a configuração das UTRs, a extração de relatórios, etc.

5.4.2 Projeto do Agente

O agente SIACI foi implementado para repassar as informações de gerência de falhas para o SIS. Ele está fisicamente distribuído em duas partes:

1. **Interna ao programa COS:** repassa os alarmes detectados para o processo UNIX do agente, sem alterar a operação original do COS.
2. **Processo UNIX:** coleta as informações que chegam pela serial em pacotes do protocolo proprietário, formata-as de acordo com o modelo SIS e as repassa ao gerente.

Normalmente, estas partes estão geograficamente distantes, conectadas através de linhas privadas. Por isso, o módulo interno ao COS implementa um mecanismo de *watchdog*, que permite ao processo UNIX verificar a integridade da comunicação e informar eventuais falhas.

A supervisão proporcionada originalmente pelo SIACI não agregava à mensagem de falha a sua severidade. Para tornar o SIACI compatível com o modelo de supervisão do SIS, o sistema original foi alterado, permitindo um mapeamento exato de alarmes.

5.5 O Agente TRÓPICO RA

O agente TRÓPICO RA supervisiona centrais telefônicas Trópico RA existentes na planta de telecomunicações [dVL95].

5.5.1 Estrutura de Supervisão

As falhas detectadas em cada módulo processador são enviadas ao processador responsável pela supervisão da central. Os alarmes são agrupados em 5 classes: falha interna (indica funcionamento incorreto interno), falha externa (indica funcionamento incorreto em equipamentos externos), observação (indica deterioração da qualidade de serviço), estado de carga (indica que limiares de tráfego foram ultrapassados) e capacidade de carga (indica diminuição da capacidade de processamento). A cada classe são associadas três categorias: urgente, semi-urgente e não-urgente. A partir dessas informações, foi estabelecido um mapeamento para os níveis de severidade do modelo SIS.

5.5.2 Arquitetura de Comunicação

A comunicação com o agente é feita através de interface RS232 a uma velocidade configurável (tipicamente 2400 ou 4800), com 8 bits de dados, sem paridade e 1 *stop bit*.

A camada de aplicação provê a troca de mensagens de estabelecimento de comunicação e transmissão de dados. É possível estabelecer dois tipos de comunicação: com conexão (utilizada para envio de comandos) e sem conexão (utilizada pela central para envio de falhas).

5.5.3 Projeto do Agente

O agente possui um módulo de comunicação serial encarregado do tratamento de mensagens. A comunicação é bidirecional:

- Central-Agente: o módulo serial entrega uma mensagem que é processada por um *parser*, que, então, extrai as informações necessárias para gerar uma notificação no modelo SIS.
- Agente-Central: uma ação do gerente, recebida pelo agente, é transformada no formato de mensagem da central e entregue ao módulo de comunicação serial.

O comportamento do agente pode ser definido da seguinte forma:

1. O agente interroga a central em busca dos alarmes presentes e os envia ao gerente.
2. O agente entra em ciclo de supervisão automático e ininterrupto, aguardando a recepção de mensagens da central. Ao receber um alarme, o agente o interpreta, converte e transmite para o gerente.
3. Ao receber uma solicitação de ação do gerente, o comando é formatado e enviado à central. O seu retorno é aguardado, interpretado, convertido e transmitido ao gerente.

5.6 O Agente EWSD

O agente EWSD está em fase final de desenvolvimento e supervisiona centrais telefônicas EWSD, de grande porte, da Siemens.

5.6.1 Arquitetura de Comunicação

A comunicação com a central é feita através de ligações X.25. Esta comunicação é feita por *sockets* UNIX, cujos domínios são do tipo AF_X25. Estes domínios são disponibilizados pelo pacote *SunNet X.25 7.0* [SM91].

5.6.2 Projeto do Agente

O agente está apto a receber as mensagens de alarme da central e convertê-las para o modelo do SIS. Já foram realizados vários testes com simuladores e aguarda-se a disponibilização de uma central em operação para a validação do protótipo.

5.7 O Agente CELULAR

Este agente supervisiona centrais telefônicas celulares modelo DMS-100, fabricadas pela Northern Telecom (Nortel).

5.7.1 Estrutura de Supervisão

O agente comunica-se com uma única central através de uma linha serial dedicada. A central, por sua vez, comunica-se com várias Estações Rádio-Base (ERB), possivelmente espalhadas por uma grande área geográfica.

As falhas presentes em cada ERB ou na própria central são divididas em vários níveis: EXT (alarmes externos), MTX (alarmes de células digitais), PM (alarmes de módulos periféricos), entre outros. Os alarmes de um nível são recuperados através de um (ou mais) comando(s) específico(s) e possuem um formato próprio de apresentação. Os alarmes e mensagens, independente do nível, são convertidos para o formato do SIS e enviados ao gerente.

Como a central não envia espontaneamente os alarmes ao agente, a supervisão é feita através de *polling*. O agente CELULAR também possui um módulo de auto-supervisão que informa o gerente de anomalias, tais como: diferença maior que cinco minutos entre o relógio da central e o da máquina que hospeda o processo agente e central não responde ao comando de colocá-la em modo de recepção de comandos. Estes comandos têm formatos próprios, definidos pelo protocolo proprietário que rege a supervisão.

5.7.2 Arquitetura de Comunicação

A comunicação com a central é feita através de interface RS232 com parâmetros configuráveis, tipicamente 2400 bps, 8 bits, sem paridade, 1 *stop-bit*.

5.7.3 Projeto do Agente

O agente supervisiona a central simulando uma interface *tty*, por onde são enviados comandos e obtidas respostas. Periodicamente, ele interroga o estado da central, obtendo uma lista de alarmes para cada um dos níveis apresentados acima. Entre duas interrogações sucessivas, ele aceita e processa eventuais comandos enviados pelo gerente.

6 Conclusões

A metodologia de integração apresentada por este artigo tem se mostrado bastante efetiva, facilitando e tornando muito mais rápido o desenvolvimento de novos agentes de supervisão.

Hoje, muitos NEs da planta de telecomunicações da Telemig se encontram integrados ao SIS e supervisionados através do modelo agente/gerente. Contam-se: 8 centrais AXE, 9 centrais TRÓPICO RA, 20 centrais ELCOM, 1 central CELULAR¹⁸ e todo o equipamento computacional (estações de trabalho, PCs, hubs e roteadores) dos centros de operação e do laboratório de desenvolvimento, além dos processos de todas as UCs do SIS.

São armazenados milhares de alarmes diários, provenientes da planta da Telemig e coletados por estes agentes.

Há ainda uma demanda pela integração imediata de centenas de centrais telefônicas digitais através dos agentes citados, o que resulta num contínuo processo de integração de NEs ao SIS. Simultaneamente, agentes para a supervisão de outros sistemas e equipamentos dos mais diversos fabricantes e tecnologias estão sendo desenvolvidos.

Além disso, como o modelo de informação, a interface agente/gerente e a metodologia de construção de agentes são públicos, a Telemig tem especificado, em suas novas licitações de compra de equipamentos, que os fabricantes disponibilizem seus sistemas de gerência de falhas segundo este novo modelo gerenciamento de redes integrado. Desta forma, vários novos equipamentos e sistemas estão sendo e serão integrados à plataforma SIS.

Referências

- [AND95] Márcio M. ANDRADE. Interfaceamento com Elementos de Rede: Especificação, Projeto e Implementação do Agente AXE. RT SIS 4105, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, dezembro 1995. 1^a edição - Rev. 1.2.
- [AP95] Márcio M. ANDRADE and Geórgia C. PENIDO. Auto-Supervisão da Rede SIS: máquinas, processos e comunicação. RT SIS 3112, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, agosto 1995. 1^a edição - Rev. 1.3.
- [BLA94] Uyles BLACK. *Network Management Standards: SNMP, CMIP, TMN, MIBs and Object Libraries*. McGraw-Hill Series on Computer Communications. McGraw-Hill, Inc., second edition edition, 1994.
- [BLO92] John BLOOMER. *Power Programming with RPC*. UNIX Networking Programming. O'Reilly & Associates, Inc., 1992.
- [BRI93] BRISA/TELEBRÁS. *Gerenciamento de Redes: Uma Abordagem de Sistemas Abertos*. Makron Books, 1993.
- [CC1a] CCITT. Recommendation X.710 (1991) — ISO/IEC 9595 : 1991, Common management information service definition for CCITT applications.
- [CC1b] CCITT. Recommendation X.711 (1991) — ISO/IEC 9596-1 : 1991, Common management information protocol specification for CCITT applications.

¹⁸Em particular, esta central da Northern Telecom supervisiona 35 ERBs, distribuídas por toda a região do estado.

- [CC1c] CCITT. Recommendation X.721 (1992) — ISO/IEC 10165-2 : 1992, Information technology – Open Systems Interconnection – Structure of management information: Definition of management information.
- [CC1d] CCITT. Recommendation X.730 (1992) — ISO/IEC 10164-1 : 1993, Information technology – Open Systems Interconnection – System management: Object management function.
- [CC1e] CCITT. Recommendation X.731 (1992) — ISO/IEC 10164-2 : 1992, Information technology – Open Systems Interconnection – System management: State management function.
- [CC1f] CCITT. Recommendation X.733 (1992) — ISO/IEC 10164-4 : 1992, Information technology – Open Systems Interconnection – System management: Alarm reporting function.
- [CF9D90] Jeffrey D. CASE, M. FEDOR, M. SCHOFFSTALL, and J. DAVIN. A Simple Network Management Protocol (SNMP). Technical report, SNMP Research, Inc., may 1990. Request for Comments 1157.
- [dVL95] Renato Augusto da Veiga Leite. Interfaceamento com Elementos de Rede: Especificação, Projeto e Implementação do Agente Trópico RA. RT SIS 4102, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, novembro 1995. 1ª edição.
- [GYY91] Germán GOLDSZMIDT, Shaula YEMINI, and Yeachiam YEMINI. Network Management by Delegation. *Proceedings of the 1991 CAS Conference*, pages 347-359, October 1991.
- [LF95] Allan LEINWAND and Karen FANG. *Network Management: A Practical Perspective, Second Edition*. Addison-Wesley UNIX and Open Systems Series. Addison Wesley Publishing Company, 1995.
- [MEI91] Dilmar M. MEIRA. Supervisão e Gerência Integrada de Rede com o Sistema Integrado de Supervisão. RT SIS 2101, UFMG-DCC-ICEEx, Belo Horizonte-MG, julho 1991. 1ª edição.
- [MEI92] Dilmar Malheiros MEIRA. As Funções de Gerência da TMN e o Sistema Integrado de Supervisão (SIS). Contribuição para o Plano Diretor de Gerência de Rede, Março 1992.
- [MIL94] Paul MILLER. A Platform for the Rapid development of CMIP Agents and Objects. In *1994 IEEE Network Operations and Management Symposium - NOMS'94*, pages 107-118, Hiatt Orlando, Kissimmee, Florida, USA, February 1994. IEEE Communications Society and IFIP, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Incorporation. Bull S.A., France.
- [MR91] Keith MCCLOGHRIE and Marshall T. ROSE. Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based Internets: MIB-II. Technical report, Hughes LAN Systems, Inc., March 1991. Request for Comments 1213.

- [NBMD94] José Marcos S. NOGUEIRA, Patrícia V.C. BICALHO, Murilo S. MONTEIRO, and João E.R. DANTAS. Interfaceamento com Elementos de Rede: Especificação da Interface Genérica com o SIS. RT SIS 3104, UFMG-DCC-ICE_x, Belo Horizonte-MG, agosto 1994. 1^a edição.
- [NM96] José Marcos Silva NOGUEIRA and Dilmar Malheiros MEIRA. The SIS Project: A Distributed Platform for the Integration of Telecommunication Management Systems. In *1996 IEEE Network Operations and Management Symposium*. IEEE/IFIP, IEEE Communications Society, April 1996.
- [NOG93] José Marcos S. NOGUEIRA. Projeto SIS: Coletânea de Relatórios Técnicos 1991 – 1993. Rt, UFMG-DCC-ICE_x/TELEMIG, Belo Horizonte-MG, dezembro 1993. 1^a edição.
- [NOG95] José Marcos S. NOGUEIRA. Projeto SIS: Coletânea de Relatórios Técnicos, Manuais e Ajudas do Sitem 1993 – 1995. Rt, UFMG-DCC-ICE_x/TELEMIG, Belo Horizonte-MG, setembro 1995. 1^a edição.
- [PHLB95] Graeme S. PERROW, James W. HONG, Hanan L. LUTIFYYA, and Michael A. BAUER. The Abstraction and Modelling of Management Agents. In *International Symposium on Integrated Network Management IV - ISINM'95*, pages 466–478, Santa Barbara, California, USA, 1995. IFIP Transactions, Chapman and Hall. Department of CS, University of Western Ontario, Canada.
- [SF95] Rafael G.R. SILVA and A.C. FERREIRA, Renato. Interfaceamento com Elementos de Rede: Especificação, Projeto e Implementação do Agente EL-COM. RT SIS 3111, UFMG-DCC-ICE_x, Belo Horizonte-MG, outubro 1995. 1^a edição – Rev. 1.2.
- [SM91] INC SUN MICROSYSTEMS. *SunNet X.25 Application Guide*. Sun Microsystems, Inc, February 1991. Revision A, SunNet 7.0.
- [STA93] William STALLINGS. *SNMP, SNMP-v2 and CMIP: The Practical Guide to Network Management Standards*. Addison Wesley Publishing Company, 1993.