

JOSÉ FRANCISCO PEREIRA MOREIRA

OPERAÇÃO E CONTROLO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS À DISTÂNCIA

DESENVOLVIMENTO DE TELESERVIÇOS PARA SISTEMAS FAC

Tese de Mestrado



ESCOLA DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO MINHO
1998

JOSÉ FRANCISCO PEREIRA MOREIRA

OPERAÇÃO E CONTROLO DE
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS À DISTÂNCIA

DESENVOLVIMENTO DE TELESERVIÇOS PARA SISTEMAS FAC

Tese de Mestrado

*Tese submetida à Universidade do Minho para obtenção
do grau de Mestre em Produção Integrada por Computador,
elaborada sob orientação do Doutor Goran Putnik.*

ESCOLA DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO MINHO
1998

Tese realizada sob a supervisão de
Goran Putnik
Professor Auxiliar do
Departamento de Produção e Sistemas
Escola de Engenharia
Universidade do Minho

SUMÁRIO

Este projecto aborda a operação e controlo de equipamentos industriais à distância e integra-se num projecto mais vasto de Sistemas de Produção Virtuais/Sistemas de Produção Distribuídos/One-Product-Integrated-Manufacturing (SPV/SPD/OPIM).

O primeiro objectivo do presente projecto consistiu na análise do estado da arte da área em que se insere, nomeadamente do teletrabalho, da teleoperação de equipamentos industriais, de sensorização remota e respectivo enquadramento no projecto de sistemas SPV/SPD/OPIM. O segundo objectivo consistiu na especificação, construção e validação de uma instalação protótipo de demonstração da operação e controlo remoto aplicados a um equipamento industrial.

Foi realizada a análise ao estado da arte dos conceitos e implementações relacionadas com a teleoperação, incluindo uma pequena resenha histórica dos mesmos. O enquadramento nos sistemas SPV/SPD/OPIM foi realizado, constituindo a envolvente e motivações para o desenvolvimento do presente projecto. Finalmente, a instalação protótipo foi concebida e implementada sobre a rede TCP/IP da Universidade do Minho e sobre uma fresadora de controlo numérico. Foram testados diversos elementos do sistema de sensorização remota, da interface ao operador remoto e das comunicações via TCP/IP entre a sala de operações e a sala controlo.

Em conclusão, queremos realçar que é nossa convicção que as tecnologias aplicadas na elaboração da instalação protótipo constituirão estruturas base para a implementação de Sistemas de Produção Avançados que alterarão significativamente a forma como as pessoas realizam trabalho e se faz produção em ambientes industriais.

Palavras Chave: Teleoperação, Teleoperação de máquinas-ferramentas, Interface Homem-Máquina, Redes de Computadores, Sistemas FAC, Sistemas de Produção Distribuídos, Sistemas de Produção Virtuais.

ABSTRACT

This project deals with the remote operation and control of industrial equipment within the general framework of Virtual Production Systems/Distributed Production Systems/One-Product-Integrated-Manufacturing (VPS/DPS/OPIM).

The first objective of this project was the analysis of the state of the art of the subject area, namely teleworking, teleoperation of industrial equipment, remote sensing and the respective positioning within the VPS/DPS/OPIM system's project. The second objective was the specification, construction and validation of one prototype installation for the purpose of demonstrating the remote control and operation when applied to an industrial equipment.

An analysis of the state of the art, of the concepts and implementations related to teleoperation was made, which also included a brief historical review. The positioning of this project within the framework of the VPS/DPS/OPIM system was undertaken. This constituted the context and the motivation for the development of the present project. Finally, the prototype installation was projected and implemented through the TCP/IP computer network of University of Minho and through a numerically controlled milling machine. Several tests were made to the elements of the remote sensory system, to the interface of the remote operator and TCP/IP communications between the operation and the control sites.

In conclusion, we would like to express our conviction that the technologies applied in the construction of the prototype installation will be the structural basis for the implementation of Advanced Manufacturing Systems that will shape the way people work and the way manufacturing is done in industrial environments.

Keywords: Teleoperation, Teleoperation of Machine Tools, Man-Machine Interface, Computer Networks, CAM Systems, Distributed Manufacturing Systems, Virtual Manufacturing Systems.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão às seguintes pessoas e instituições :

Doutor Goran Putnik, orientador científico deste trabalho.

Colegas do subgrupo de Gestão Industrial e de Sistemas, pela disponibilidade, palavras de incentivo e apoio na resolução de alguns problemas. Um agradecimento especial ao Engenheiro Rui Sousa, pela sua colaboração.

Departamento de Mecânica e Doutor Caetano Monteiro, pela disponibilização da fresadora de controlo numérico, indispensável à construção do protótipo.

Departamento de Produção e Sistemas.

Universidade do Minho.

Grato por partilhar um mesmo espaço de investigação e visões aproximadas de cooperação, aqui registo o meu sincero agradecimento.

Muito Obrigado,

Aos meus pais,

José e Luísa

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento Geral	1
1.2 Objectivos do Projecto	3
1.3 Organização do projecto e da tese.....	4
CAPÍTULO 2 ANÁLISE DE SISTEMAS DE TELEOPERAÇÃO	6
2.1 Resenha histórica da teleoperação	6
2.2 Teletrabalho	17
2.3 Teleoperação em sistemas de fabrico assistido por computador.....	18
CAPÍTULO 3 SISTEMAS DE PRODUÇÃO VIRTUAIS, DISTRIBUIDOS E OPIM	22
3.1 Sistemas de Produção Virtuais	22
3.2 Sistemas de Produção Distribuídos	24
3.3 Sistemas OPIM.....	26
3.4 Importância dos teleserviços na implementação de SPV/SPD/OPIM.....	28
3.5 Organização do projecto de investigação para SPV/SPD/OPIM	29
3.5.1 Esquema organizacional Geral.....	29
3.5.2 Enquadramento do projecto	29
CAPÍTULO 4 ESTRUTURA FUNCIONAL DO SISTEMA	31
4.1 Introdução.....	31
4.2 Requisitos de controlo	33
4.3 Requisitos sensoriais	37
4.4 Requisitos de actuadores externos.....	39
4.5 Interfaces	40
4.6 Comunicações	42
4.7 Recursos de processamento de matéria-prima.....	45
4.8 Especificação do modelo geral do sistema e do sistema a desenvolver	50

CAPÍTULO 5 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA PROTÓTIPO	53
5.1 Descrição global do sistema.....	53
5.2 Fresadora FFI FV-100	55
5.3 Ambiente de desenvolvimento das aplicações informáticas	59
5.4 Funcionalidades implementadas	61
5.4.1 Funções de controlo manual de movimentos.....	61
5.4.2 Funções de manipulação e execução de programas	63
5.5 Comunicações via TCP/IP	64
5.6 Interface Homem-Máquina via Painel Virtual Remoto	68
5.7 Aquisição de dados sensoriais	73
5.8 Sistema Vídeo e Audio	81
5.9 Interface Fresadora-Computador local.....	86
CAPÍTULO 6 VALIDAÇÃO DA INSTALAÇÃO PROTÓTIPO	89
CAPÍTULO 7 CONCLUSÕES	94
7.1 Considerações finais	94
7.2 Trabalho futuro	96
REFERÊNCIAS	98
ANEXOS	103
ANEXO I - <i>LabVIEW: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i>	A1.1
ANEXO II - <i>Front Panel e Block Diagram do VI RemoteCNC-Client.VI</i>	A2.1
ANEXO III - <i>Front Panel e Block Diagram do VI RemoteCNC-Server.VI</i>	A3.1
ANEXO IV - Hierarquia dos VIs <i>RemoteCNC-Client.VI</i> e <i>RemoteCNC-Server.VI</i>	A4.1
ANEXO V - Aquisição de dados sensoriais.....	A5.1

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 - Teleoperação <i>do Sojourner</i> . Missão <i>Microrover Flight Experiment</i>	3
Fig. 2.1 - Um dos primeiros mecanismos de apoio às funções do braço	7
Fig. 2.2 - Veículo TROV - Inspeção subaquática no mar gelado da Antártica	11
Fig. 2.3 - Robot Dante II - Recolha de amostras em vulcões	13
Fig. 2.4 - Veículo Sojourner em inspeção de uma rocha	14
Fig. 2.5 - Aquisição e análise de dados científicos na exploração da superfície de Marte	15
Fig. 2.6 - Telediagnóstico médico com display móvel e câmara vídeo <i>slave</i> providenciando telepresença	16
Fig. 3.1 - Fases da implementação do conceito Global Manufacturing	25
Fig. 3.2 - Selecção de recursos primitivos do mercado global para sistemas OPIM	27
Fig. 3.3 - Procedimento de institucionalização de sistemas VE/OPIM	29
Fig. 3.4 - Enquadramento do projecto nos sistemas VE/OPIM	30
Fig. 4.1 - Estrutura de controlo hierárquico para máquinas-ferramentas de CN e robots	33
Fig. 4.2 - Espectro dos modos de controlo.....	34
Fig. 4.3 - Conceito de controlo de equipamentos remotos.....	34
Fig. 4.4 - Máquina-ferramenta de CN controlada localmente por um operador humano.....	35
Fig. 4.5 - Estrutura de controlo hierárquico para equipamento controlado remotamente	36
Fig. 4.6 - Estrutura lógica dos interfaces requeridos para teleoperação de máquinas-ferramentas	42
Fig. 4.7 - Estabelecimento de conexões Cliente/Servidor sobre TCP/IP	44
Fig. 4.8 - Representação informal de sistemas de teleoperação para CAM	50
Fig. 4.9 – Sistema protótipo a desenvolver.....	51
Fig. 4.10 - Representação formal em ESTELLE de teleoperação de sistemas CAM.....	51
Fig. 4.11 - Representação formal em ESTELLE da instalação protótipo de um sistema CAM.....	52
Fig. 5.1 - Esquema organizacional de desenvolvimento da instalação protótipo	53
Fig. 5.2 - Teleoperação de uma fresadora de controlo numérico	55
Fig. 5.3 - Fresadora FFI FV-100.....	55
Fig. 5.4 - Painel da unidade de controlo da fresadora FFI FV-100.....	56
Fig. 5.5 - Tradução das movimentações no painel virtual em comandos CN	62
Fig. 5.6 - Aplicação Cliente/Servidor	64
Fig. 5.7 - O <i>Front Panel</i> do Instrumento Virtual FM-TCP-IP (Cliente).VI.....	65
Fig. 5.8 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual FM-TCP-IP (Cliente).VI.....	66
Fig. 5.9 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual FM-TCP-IP SERVER2055.VI.....	67
Fig. 5.10 - Painel Virtual da fresadora FFI FV-100 FANUC 0-M.....	68
Fig. 5.11 - Estabelecimento de uma sessão de trabalho sobre o painel virtual remoto.	69

Fig. 5.12 - Seleção de uma máquina para estabelecimento de uma sessão de trabalho.....	69
Fig. 5.13 - Seleção de um programade CN da biblioteca de programas.....	70
Fig. 5.14 - Visualização de um programa de CN em disco.....	70
Fig. 5.15 - Geração de um programa de CN a partir dos botões do painel virtual remoto	71
Fig. 5.16 - Movimentação directa de um ou vários eixos da máquina.	72
Fig. 5.17 - Velocidade de rotação da árvore	72
Fig. 5.18 - Velocidade de avanço.....	72
Fig. 5.19 - Diagrama de blocos da placa AT-MIO-16E-10.....	75
Fig. 5.20 - Relações entre o ambiente de programação, os drivers NI-DAQ, e o <i>Hardware</i>	76
Fig. 5.21 - Configurações base da placa DAQ AT-MIO-16E-10.....	76
Fig. 5.22 - Configuração das entradas analógicas.....	77
Fig. 5.23 - Configuração das saídas analógicas	77
Fig. 5.24 - O <i>Front Panel</i> do Instrumento Virtual FM-Digital I-O READ OK!.VI.....	78
Fig. 5.25 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual FM-Digital I-O READ OK!.VI.....	78
Fig. 5.26 - O <i>Front Panel</i> do Instrumento Virtual FM-Leitura da Temperatura.VI.....	79
Fig. 5.27 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual FM-Leitura da Temperatura.VI.....	80
Fig. 5.28 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual FM-My Single-Scan Processing.VI	80
Fig. 5.29 - Estabelecimento de uma ligação de videoconferência : Operador remoto ↔ Fresadora FFI FV-100.....	83
Fig. 5.30 - Ligação de videoconferência estabelecida	83
Fig. 5.31 - Encerramento de uma ligação de videoconferência	84
Fig. 5.32 - Lista de operadores remotos.....	84
Fig. 5.33 - Sessão de trabalho com transmissão vídeo e audio em tempo real.....	85
Fig. 5.34 - Operador remoto durante uma sessão de trabalho	85
Fig. 5.35 - Esquema de ligações do cabo série PC-Fresadora.....	86
Fig. 5.36 - <i>Block Diagram</i> do VI responsável pelas comunicações série com a fresadora	87
Fig. 5.37 - <i>Front Panel</i> do VI responsável pelas comunicações série com a fresadora	87
Fig. 6.1 - Painel Virtual remoto versus Painel Real da fresadora FFI FV-100 FANUC 0-M	90
Fig. A1.1 - Exemplo de um <i>Front Panel</i> de um VI.....	A1.3
Fig. A1.2 - Exemplo de um <i>Block Diagram</i> de um VI.....	A1.4
Fig. A1.3 - Hierarquia de VIs	A1.4
Fig. A1.4 - Exemplo de <i>conector pane</i> e respectivo <i>ícone</i> de um VI.....	A1.5
Fig. A1.5 - Elementos para construção da interface gráfica	A1.5
Fig. A1.6 - Biblioteca de funções do <i>LabVIEW</i>	A1.6
Fig. A2.1 - <i>Front Panel</i> do VI RemoteCNC-Client.VI.....	A2.2
Fig. A2.2 - <i>Block Diagram</i> do VI RemoteCNC-Client.VI (parte I).....	A2.3
Fig. A2.3 - <i>Block Diagram</i> do VI RemoteCNC-Client.VI (parte II).....	A2.4
Fig. A3.1 – <i>Front Panel</i> do VI RemoteCNC-Server.VI	A3.2
Fig. A3.2 - <i>Block Diagram</i> do VI RemoteCNC-Server.VI.....	A3.3
Fig. A4.1 – Hierarquia de VIs do VI RemoteCNC-Client.VI.....	A4.2
Fig. A4.2 – Hierarquia de VIs do VI RemoteCNC-Server.VI	A4.2

Fig. A5.1 - Sensores, actuadores, conector externo e módulos de alimentação e de condicionamento de sinal.....	A5.2
Fig. A5.2 - Montagem eléctrica do módulo de condicionamento de sinal.....	A5.3

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Desempenho de sistemas computacionais e redes de computadores.....	43
Tabela 5.1: Configuração da placa DAQ AT-MIO-16E-10 para aquisição de sinais	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ACH	Analog input CHannel signal. Canal de entrada de sinais analógicos.
ADC	Analog-to-Digital Converter. Conversor Analógico-Digital.
AIGND	Analog Input GrouND signal. Sinal terra de entrada analógica.
AISENSE	Analog Input SENSE signal.
CAD/CAM	Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing. Projecto Assistido por Computador/Fabrico Assistido por Computador.
CAE	Computer-Aided Engineering.
CIM	Computer-Integrated Manufacturing.
CIMS	Computer-Integrated Manufacturing Systems.
Cliente/Servidor	Modelo comum em aplicações de rede. As aplicações Cliente requerem serviços às aplicações Servidor.
CN	Controlo Numérico.
CNC	Controlo Numérico por Computador.
DAC	Digital-to-Analog Converter. Conversor Digital-Analógico.
DAQ	Data AcQuisition. Aquisição de dados.
Debug	Depurar o código fonte de um programa de computador.
DGND	Digital GrouND signal. Sinal terra digital.
DIFF	DIFFerential mode. Modo diferencial.
DIO	Digital Input/Output. Entradas/saídas digitais.
DMA	Direct Memory Access. Acesso directo a memória.
DNC	Distributed/Direct Numerical Control.
Driver	Programa usado para manipular um dispositivo ou fazer o interface a uma placa.
EISA	Extended Industry Standard Architecture.
ESTELLE	Linguagem de especificação formal.
FMS	Flexible Manufacturing Systems. Sistema Flexível de Manufactura.
G Language	Linguagem de programação gráfica usada pelo LabVIEW.
Hardware	Equipamento físico que constitui um sistema computacional, como componentes e dispositivos magnéticos, mecânicos, eléctricos e electrónicos.
Hex	Sistema de numeração hexadecimal.
ICAD	Intelligent Computer-Aided Design.
Ícone	Símbolo que, num monitor, representa uma função ou um documento que o utilizador pode seleccionar.
IHM	Interface Homem-Máquina.
IIM	Integrated Information Management.
Internet	Rede ou conjunto de redes interligadas.
IRQ	Interrupt ReQuest. Linha para pedido de uma interrupção em sistemas computacionais.
ISA	Industry Standard Architecture.
ITU	Acrónimo de International Telecommunications Union. Agência especializada em

	telecomunicações das Nações Unidas.
I/O	Input/Output. Entradas/Saídas.
JPL	Jet Propulsion Laboratory.
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Ferramenta de programação de âmbito geral.
LAN	Local-Area Network. Rede de computadores de âmbito local.
LED	Light-Emitting Diode.
MIO	Multifunction I/O.
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NRSE	NonReferenced Single-Ended mode. Modo de ligação de um só terminal não-referenciado.
OPIM	One Product Integrated Manufacturing.
PC	Personal Computer. Termo usado para referir computadores compatíveis com o IBM.
PGIA	Programmable Gain Instrumentation Amplifier. Amplificador com ganho programável.
Pixel	Picture element. O mais pequeno elemento de um écran, representado como um ponto com uma cor específica e nível de intensidade.
Protocolo	Conjunto de regras e convenções que regem a comutação de informação entre computadores.
RDIS	Rede Digital com Integração de Serviços, equivalente à sigla inglesa ISDN (Integrated Services Data Network).
ROV	Remotely Operated Vehicle. Veículo operado remotamente.
RSE	Referenced Single-Ended mode. Modo de ligação de um só terminal referenciada.
SCXI	Signal Conditioning eXtensions for Instrumentation.
SE	Single-Ended inputs. Modo de ligação de entradas de um só terminal.
Software	Instruções de computador escritas para serem executadas pelo hardware, inclui o sistema operativo, programas utilitários e programas aplicativos.
SPD	Sistemas de Produção Distribuídos.
SPV	Sistemas de Produção Virtuais.
String	Sequência de caracteres ou bits, tratados como um elemento único.
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Conjunto de protocolos de comunicação usados na transferência de blocos de dados entre aplicações.
UC	Unidade de Controlo.
VE	Virtual Enterprise. Empresa Virtual.
VI	Virtual Instrument. Programa desenvolvido em LabVIEW. Designado desta forma devido a modelar a aparência e funcionalidade de instrumentos físicos.
Vref	Reference Voltage. Tensão de referência.
WAN	Wide-Area Network. Rede de computadores de longa distância.
WWW	World Wide Web.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento geral

Este projecto aborda um fenómeno tecnológico crescente: a operação e controlo de sistemas electromecânicos pelo homem, executados à distância. Estes sistemas só se tornaram possíveis com o desenvolvimento de tecnologias avançadas ao nível do processamento automático de informação, das telecomunicações e de dispositivos de sensorização artificial.

A operação e controlo de dispositivos a partir de um local geograficamente distante designa-se vulgarmente teleoperação. A teleoperação consiste na extensão das capacidades sensoriais e de manipulação de uma pessoa para uma localização remota.

O espaço e o tempo são factores que revelam a importância do conceito de teleoperação. Permitindo a realização de tarefas globalmente distribuídas e a comutação rápida entre as mesmas, a teleoperação dota as pessoas de flexibilidade espacial e temporal até agora nunca atingidas.

Actualmente relatam-se experiências de teleoperação, um pouco por todo o mundo, com especial incidência no controlo de robots e *ROV's-Remotely Operated Vehicles*, em

ambientes adversos ao homem. Como exemplo destes ambientes podem-se referir o espaço extraterrestre, águas profundas, ambientes terrestres com contaminação nuclear, biológica ou química.

Esta nova forma de tecnologia, em conjugação com outras, baseadas no acesso e envio de informação para pontos geograficamente distantes, está actualmente a alterar a forma como as pessoas trabalham em diversos sectores de actividade, com especial relevância no sector comercial e nos serviços. O aparecimento do teletrabalho no início da década de 70 e a explosão verificada desde então no número de pessoas que aderiram a esta nova filosofia de trabalho, sugerem que estamos perante um conceito forte e de enormes potencialidades de crescimento. O aparecimento de redes globais de interligação de sistemas digitais e o aparecimento de serviços populares (como o serviço *World Wide Web* e o correio electrónico) de acesso generalizado, sugerem que num futuro próximo o acesso e uso de informação poderá desempenhar um papel fulcral no desempenho e forma de organização das empresas.

Em termos industriais a aplicação da teleoperação dá ainda os primeiros passos. As aplicações concretas na indústria são ainda escassas mas com um enorme potencial. A forma como o seu enquadramento será realizado nas empresas encontra-se neste momento em fase de desenvolvimento.

Presentemente o planeta Marte é alvo de investigação por um veículo semi-autónomo, o *Sojourner*, controlado da Terra. Este veículo analisa e captura imagens do solo marciano. A informação que vai adquirindo é enviada para a nave espacial *Mars Pathfinder*, que se encontra na superfície de Marte, e esta envia-a para a Terra. De igual forma, o centro de controlo terrestre envia instruções para a nave espacial, que por sua vez as remete para o veículo. Este tipo de controlo exemplifica com clareza o conceito de teleoperação. *O Microrover Flight Experiment* (MFEX) é uma experiência da NASA para veículos móveis e a missão prioritária é determinar o seu desempenho num terreno pouco conhecido, o solo de Marte.

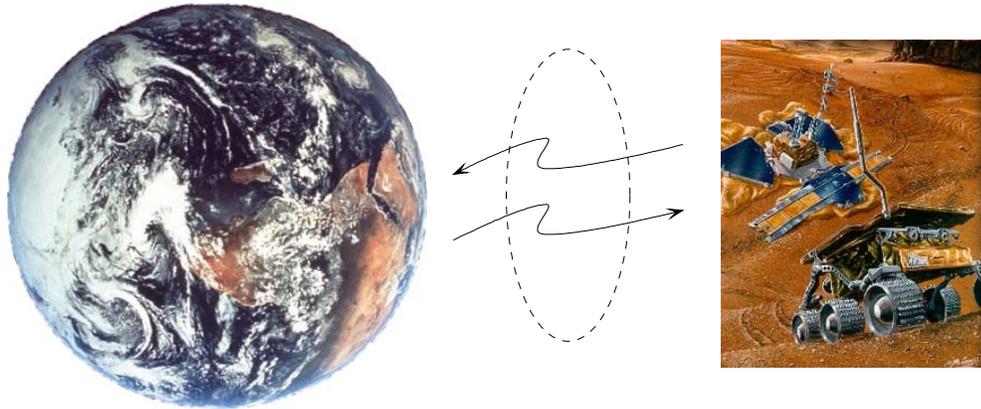


Fig. 1.1 - Teleoperação do *Sojourner*. Missão *Micro rover Flight Experiment*, [de WWW-JPL 97a].

No âmbito industrial, Mitsuishi et al., [MITSUHISHI et al. 92] apresenta os conceitos e as funcionalidades requeridas para especificação de um sistema de fabrico assistido por computador globalmente distribuído, bem como a tecnologia essencial à implementação do sistema. A experiência preliminar foi realizada recorrendo a um centro de maquinagem instalado na universidade de Tóquio. O local de operação e controlo ficou instalado na universidade George Washington, nos EUA.

1.2 Objectivos do projecto

O projecto tem como objectivos principais :

1. Análise do estado da arte de sistemas de teleoperação.
2. Enquadramento da operação e controlo de equipamentos industriais à distância no contexto dos Sistemas de Produção Virtuais (SPV), Sistemas de Produção Distribuídos (SPD) e do conceito OPIM-*One Product Integrated Manufacturing*.
3. Especificação dos requisitos tecnológicos e desenvolvimento da tecnologia de teleserviços para sistemas de fabrico assistido por computador.
4. Criação de uma instalação protótipo.
5. Validação do sistema.

1.3 Organização do projecto e da tese

O presente projecto está estruturado em cinco fases :

1-Análise de necessidades

Importância do conceito e das tecnologias de operação e controlo à distância para a indústria. Análise da tecnologia e implementações ao nível das tecnologias de informação que nos empurram para o conceito.

Enquadramento da teleoperação nos conceitos recentes de sistemas avançados de produção.

2-Especificação funcional

Projecto do sistema a implementar. Definição das funcionalidades requeridas à operação e controlo à distância de um equipamento. Requisitos de interfaces, de comunicações e informação sensorial.

3-Construção de um demonstrador

Elaboração da instalação protótipo. Ambiente de desenvolvimento. *Hardware* requerido e instalado. Especificação do *Software* desenvolvido e funcionalidades implementadas. Funcionamento dos subsistemas.

4-Validação

Execução de testes relevantes e demonstrações dos subsistemas protótipos desenvolvidos. Avaliação qualitativa dos resultados.

5- Plano de exploração

Execução de recomendações e considerações à implementação industrial dos conceitos e protótipo desenvolvido.

O capítulo 2 apresenta o estado da arte e fundamentação do conceito de operação e controlo à distância como suporte à introdução de teleserviços para sistemas de Fabrico Assistido por Computador.

O capítulo 3 Contextualiza o presente projecto nos sistemas avançados de produção.

O capítulo 4 apresenta a estrutura funcional e arquitectura dos sistemas tradicionais e do sistema a implementar, descrevendo os subsistemas mais relevantes.

O capítulo 5 descreve a construção dos subsistemas protótipos: o ambiente de desenvolvimento, as aplicações geradas, e a instalação protótipo global.

O capítulo 6 apresenta alguns testes aos principais componentes e respectivas funcionalidades para avaliação e validação do protótipo.

No capítulo 7 realiza-se uma análise crítica a todo o trabalho desenvolvido, analisando os resultados obtidos e sugerindo trabalho futuro.

Capítulo 2

ANÁLISE DE SISTEMAS DE TELEOPERAÇÃO

2.1 Resenha histórica da teleoperação

Muito do que alguns acreditam tratar-se de recentes desenvolvimentos na tecnologia de teleoperação teve de facto início muitos anos atrás. Muito antes do século XVI já existiam mecanismos rudimentares actuados à distância para caçar animais e extensões simples dos membros. No início do século XIX existiam mecanismos manipulados à distância para remoção de terra, construção e tarefas relacionadas.

Na década de 40 os fornecedores de próteses para membros desenvolveram ganchos para implementar em braços humanos. Estes mecanismos eram activados por correias em couro ligados a outra parte do corpo da pessoa. Por volta de 1945 o primeiro mecanismo mestre-escravo foi desenvolvido por Raymond Goertz no *Argonne National Laboratory*, perto de Chicago. Eram pantógrafos mecânicos utilizados na manipulação de materiais radioactivos presentes numa “*hot cell*”. A sua manipulação era realizada por um operador humano no exterior da célula.

Apareceram igualmente os primeiros circuitos fechados de televisão que permitiam que o operador pudesse estar a uma distância arbitrária dos mecanismos.

Nos meados de 1950 os desenvolvimentos tecnológicos em telepresença¹ (na altura não lhe chamavam assim) eram demonstrados por Johnsen, Corliss, Magee, Heer e mais tarde Vertut e Coiffet. Dentre estes estavam a reflexão de força simultânea em seis graus de liberdade, dois braços coordenados teleoperados, dispositivos de monitorização visual montados na cabeça do operador que controlavam a posição da câmara remota, fornecendo desta forma telepresença visual notável. O manipulador *Mosher's Handyman* era particularmente impressionante na altura. Desenvolvido pela General Electric Co., possuía dois braços electrohidráulicos, cada um dos quais com 10 graus de liberdade.

No final da década de 50 havia interesse em aplicar esta nova tecnologia de servomecanismos em próteses de membros humanos. Provavelmente o primeiro desenvolvimento com sucesso nesta área foi o de Aaron Kobrinskii, no ano de 1960, em Moscovo. Kobrinskii desenvolveu uma prótese do antebraço manuseada por sinais mioeléctricos recolhidos nos músculos do coto do antebraço ou nos músculos do braço.



Fig. 2.1 – Um dos primeiros mecanismos de apoio às funções do braço [de JOHNSEN and MAGEE 70].

¹ - O homem vive experiências de telepresença quando, perante um conjunto de sensações, geradas pela proveniência de informação sensorial artificial, disponibilizada de uma forma muito natural, se sente como se estivesse fisicamente presente. A tecnologia de telepresença cria um sentimento de estar presente num ambiente remoto diferente do que a pessoa realmente está.

Este evento foi rapidamente seguido por desenvolvimentos similares nos EUA e Europa nos meados de 1960, incluindo mecanismos teleoperados, instalados em cadeiras de rodas de tetraplégicos, que podiam ser comandados através da língua ou outros sinais motores que permaneciam.

Por esta altura a investigação em sensorização táctil remota e a monitorização visual estava a ser desenvolvida por Stricker, apesar de ainda haver pouco interesse na sua aplicação.

A partir de 1960 foram instalados, a nível experimental, telemanipuladores e câmaras de vídeo em submarinos pela marinha dos EUA, da URSS e França. Por exemplo o veículo CURV (*cable-Controlled Underwater Research Vehicle*) da marinha norte americana foi utilizado com sucesso em 1966 para recuperar de águas profundas do oceano uma bomba nuclear que tinha sido largada acidentalmente por um avião nas Palomares, Espanha [SHERIDAN 92].

Empresas de extracção de minério no mar alto e de instalação de cabos submarinos em breve se interessariam pela utilização desta tecnologia na substituição de mergulhadores humanos, especialmente à medida que as operações de extracção de petróleo e gás natural se tornavam cada vez mais profundas.

No início dos anos 60 a corrida à Lua começou. Um problema importante se colocava então pelo atraso temporal na transmissão entre a Terra e a Lua. O controlo em malha fechada entre a Terra e a Lua era impraticável devido à instabilidade resultante.

Em 1965 laboratórios académicos de investigação realizaram experiências que revelavam os problemas que o atraso temporal de transmissão causava em teleoperação de veículos, em particular que a única forma de evitar a instabilidade era efectuar um movimento em malha aberta, sem esperar pela informação de retorno, e só então esperar pela confirmação antes de efectuar o próximo movimento em malha aberta. Resultados experimentais tornaram claro o porquê de, com um atraso de tempo significativo, se tornar intoleravelmente longo a executar até a mais simples tarefa de manipulação remota.

O *Lunakhod*, de origem soviética, foi o primeiro veículo lunar controlado

remotamente. O *Surveyor*, igualmente um veículo lunar, demonstrou claramente os problemas do atraso temporal em “*move-and-wait*” numa missão espacial real.

Logo de seguida o controlo de supervisão demonstrou oferecer uma solução que torneava o problema do atraso temporal [FERREL and SHERIDAN 67]. Tornou-se de imediato aparente que o controlo de supervisão tinha vantagens mesmo quando não havia atrasos temporais nos canais de comunicação. Por forma a evitar colisões e deixar cair objectos previamente agarrados, eram necessários tempos de reacção do mecanismo teleoperado mais rápidos que os que o operador humano à distância podia oferecer.

Uma investigação muito próxima e relacionada foi desenvolvida por Crossman em 1974 [CROSSMAN et al. 74], a qual esclareceu a forma como os seres humanos distribuem a sua atenção em controlo simultâneo de sistemas múltiplos.

Tomovic, em 1969, salientou a natureza hierárquica do controlo motor humano, no qual o nível mais elevado após fornecer comandos aos níveis mais baixos não exerce influência por algum tempo.

Em 1970 o interesse ocidental em teleoperação voltou-se para a exploração subaquática dado haver na altura uma grande procura económica pelo petróleo em alto mar. Os franceses desenvolveram o seu veículo *ERIC*, os americanos o *Hydroproducts RCV150*. Estes veículos eram de pequeno porte, não tripulados, e com capacidades de manipulação e de captura de vídeo com controlo remoto. A navegação era igualmente executada à distância.

Os robots industriais atingiam nesta data o seu pico de desenvolvimento. A Unimation, General Electric e a Cincinnati Milacron, nos EUA e a Hitachi, Fujitsu e outros, no Japão, e muitas outras empresas da Europa ocidental e de leste começavam a instalar robots relativamente simples em linhas de montagem, a maior parte dos quais em operações de soldadura ponto-a-ponto e pintura por spray. Em 1980 começaram a utilizar-se sistemas de sensorização de força no pulso do robot, visão por computador (ainda de uma forma rudimentar), e a utilização da caixa de controlo manual² para programação simples na oficina fabril.

² - *Teach pendant*

Desde 1970 a taxa de desenvolvimento da teleoperação aumentou, mas aos olhos de muitos, esse aumento foi conseguido através do desenvolvimento intensivo dos robots industriais. Os principais desenvolvimentos em teleoperação, incluindo telerobótica, foram nas aplicações subaquáticas (levada a cabo na indústria petrolífera nos anos 70 nos EUA, Japão, França, Reino Unido e Escandinávia e nos anos 80 pela marinha desses países) e nas missões espaciais.

A robótica industrial teve muito menos sucesso do que fora anunciado na época das grandes previsões da década de 70. A telerobótica³ progrediu igualmente lentamente. Os passos dados em robótica em desenvolvimentos no espaço foram retardados por sucessivos cortes orçamentais e pelo ênfase dado às naves espaciais tripuladas pelo homem. O desenvolvimento da telerobótica na industria petrolífera baixou devido à queda do preço do petróleo e pela sua manutenção em baixa. Todavia nos EUA, a NASA⁴, o departamento da defesa e o departamento da energia aumentaram recentemente, de forma inequívoca, o seu interesse na teleoperação e telerobótica. O Japão, na sua forma de evolução silenciosa e regular continuou a desenvolver dispositivos teleoperados e a tecnologia da telerobótica, sendo actualmente, em muitos aspectos, líder mundial.

A Rússia colocou na Lua um veículo controlado remotamente em Novembro de 1970, o Lunakhod 1 (Luna 16). Este veículo percorreu 10,5 Kms cobrindo uma área visual de 80.000 m² durante os quais tirou mais de 20.000 imagens. Apesar do atraso temporal do sinal ter sido de apenas 3 segundos a experiência provou que o controlo do veículo era de dificuldade elevada.

A NASA possui um historial único na construção de veículos móveis para missões espaciais. O seu primeiro veículo usado na exploração espacial foi enviado na Apollo 15 numa missão à Lua, em Julho de 1971. Dois outros veículos lunares (Lunar Roving Vehicles-LRVs) foram construídos e enviados para a Lua na Apollo 16 e Apollo 17 em Abril e Dezembro de 1972 respectivamente.

³ - Telerobótica é uma forma avançada de teleoperação aplicada a equipamentos concretos, os robots. As tarefas a desempenhar pelo robot são enviadas ao seu controlador, através de redes de computadores. A monitorização da execução das mesmas é realizada recorrendo a sensorização artificial.

⁴ - NASA - National Aeronautics and Space Administration

A NASA possui actualmente um programa de investigação – *Space Telerobotics*, que pretende desenvolver as capacidades de manipulação e mobilidade remotas, pela fusão da robótica com a teleoperação, criando novas tecnologias de telerobótica. Os requisitos tecnológicos de telerobótica aplicada a missões espaciais podem ser caracterizadas por necessidades de controlo manual e controlo automático, tarefas não repetitivas, atraso temporal entre o operador e o manipulador, manipuladores flexíveis com dinâmica complexa, novas formas de locomoção, operação no ambiente espacial e habilidade para recuperar de eventos não planeados. O objectivo principal deste programa é : “Desenvolver, integrar e demonstrar a ciência e tecnologia de manipulação remota de tal forma que pelo ano 2004, 50% das operações requeridas pelos EUA em orbita ou na superfície de planetas seja levada a cabo por telerobótica” [WWW-NASA 98a]. As três áreas de aplicação são: Montagem e serviços em orbita; Avanço científico e uso da Robótica na superfície de planetas.

A NASA construiu igualmente vários veículos de operação remota entre os quais o TROV-*Telepresence Remotely Operated Vehicle*. Este projecto era uma experiência em operação remota e pretendia testar técnicas de teleoperação baseadas em ambientes virtuais.

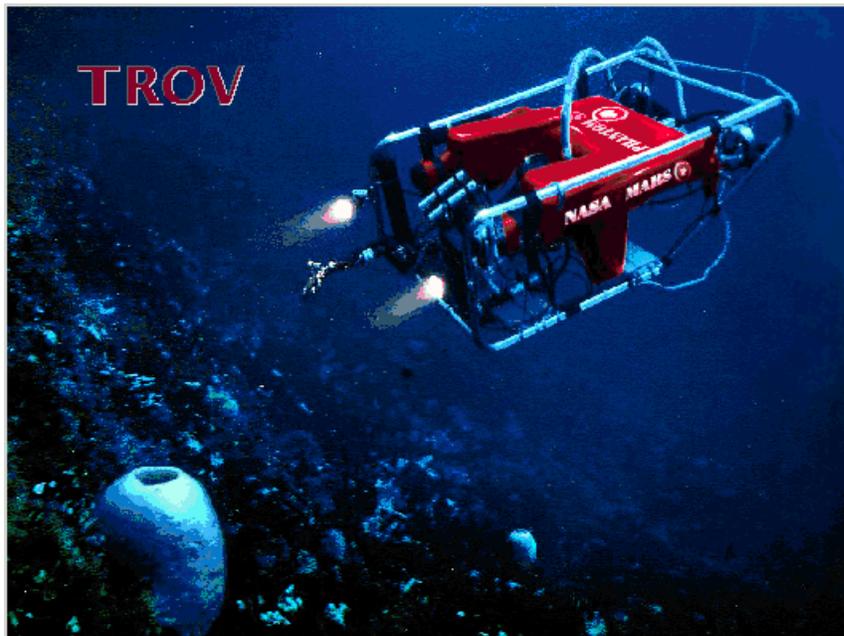


Fig. 2.2 - Veículo TROV - Inspeção subaquática no mar gelado da Antárctica [de WWW-NASA 98b].

Este veículo foi utilizado em Outubro e Novembro de 1993 no Antártico. Foi colocado sob o mar gelado, perto da *McMurdo Science Station*, e teleoperado a partir de uma estação de controlo na NASA-Ames⁵.

Há semelhança do espaço extraterrestre também o Antártico constitui um ambiente hostil, possuindo localizações de difícil acesso para exploração humana, mas que podem ser atingidas por sistemas robotizados. Nesta expedição o TROV foi usado para:

1. Explorar até 800 pés de profundidade sob a estação *McMurdo* recolhendo amostras de organismos.
2. Conduzir uma pesquisa ecológica para o *Monterey Bay Aquarium Research Institute*.
3. Realizar um estudo sobre o desempenho do homem em tarefas de teleoperação perante uma variedade de metodologias de controlo e de tecnologias de monitorização.
4. Demonstrar técnicas de teleoperação baseadas em ambientes virtuais durante as operações remotas da NASA-Ames, do *National Air & Space Museum* e diversas Universidades.

O Dante II, um robot de 8 patas, foi usado na exploração do vulcão Mt. Spurr, no Alasca em 1994. A amostragem das altas temperaturas e gases das fumarolas é um desafio arriscado. Em 1993 oito vulcanologistas pereceram em dois eventos diferentes quando tentavam recolher amostras e monitorizavam vulcões.

O uso de robots exploradores, como o Dante II, permitem que cientistas conduzam as suas experiências e investigação de forma remota.

⁵ - Ames Research Center (ARC)



Fig. 2.3 - Robot Dante II - Recolha de amostras em vulcões [de WWW-IMG 97].

Em 1997 os EUA enviaram numa missão a Marte o primeiro veículo controlado remotamente de outro planeta – o Sojourner.

As comunicações com este veículo não são realizadas em tempo-real dado que o atraso temporal na transmissão dos sinais é de aproximadamente 11 minutos. Devido a esta contingência o Sojourner foi controlado através de uma forma de supervisão de controlo autónomo, fornecendo-se antecipadamente as localizações pretendidas (ou comandos de movimento) ao veículo. Este, posteriormente, faz a navegação para atingir essas posições de forma autónoma [WWW-JPL 97b].

Os sistemas de sensorização que o Sojourner transporta permitem cumprir a sua missão de adquirir dados científicos da superfície de marte e dados que permitem aos operadores terrestres corrigir trajectórias do veículo.

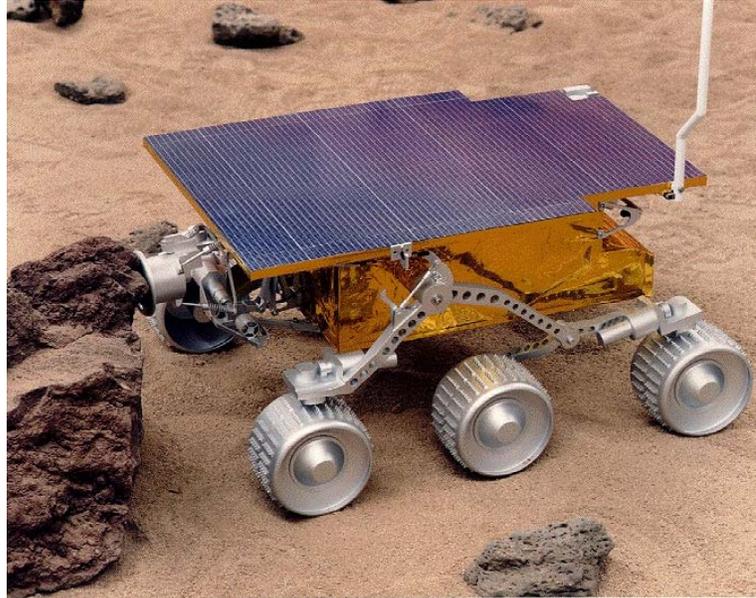


Fig. 2.4 - Veículo *Sojourner* em inspeção de uma rocha [de WWW-JPL 98].

Recentemente o Jet Propulsion Laboratory (JPL), da NASA, desenvolveu uma aplicação informática - WITS (*Web Interface for TeleScience*) que permite a participação de cientistas nas missões planetárias e no controlo dos respectivos veículos operados remotamente a partir de qualquer ponto do planeta usando a Internet. O WITS será usado nas missões a Marte em 1998 e 2001. Este sistema irá permitir gerar comandos para o ROV, a enviar nas missões, e receber imagens e dados de análise da superfície do planeta. Tudo isto usando uma ferramenta de pesquisa na Internet⁶ vulgar como o *Netscape Navigator 3.0.1* ou *Microsoft Explorer 3.0.1*. Está já disponível igualmente uma versão de acesso generalizado mas com restrições funcionais. Esta versão faz a simulação da interacção com o veículo obtendo-se os dados mais recentes, nomeadamente imagens, recebidos da nave presente na superfície de Marte - *Pathfinder*.

Novos veículos têm sido concebidos para futuras expedições extraterrestres. Estes novos veículos reflectem o progresso na aquisição de dados científicos, para missões de exploração das superfícies de planetas. O *Rocky7* irá fornecer imagens stereo panorâmicas, espectros da composição dos materiais e outros dados científicos.

⁶ - *Browser Web*

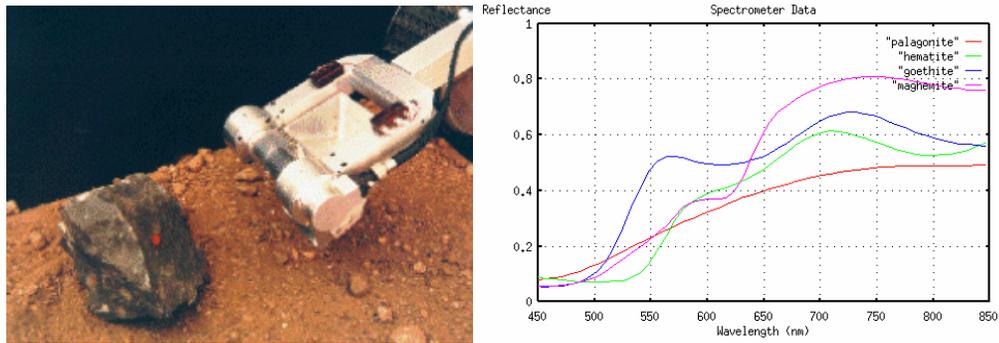


Fig. 2.5 - Aquisição e análise de dados científicos na exploração da superfície de Marte [de WWW-JPL 97c].

Segundo a Associação Americana de Telemedicina (ATA) “*Telemedicina é a expedição de informação médica entre localizações geograficamente distantes através de comunicação electrónica para tratamento médico e educação dos pacientes ou fornecedor do serviço médico com o objectivo de melhorar o serviço ao paciente.*” [WWW-ATA 97]. Num relatório recente ao congresso norte-americano, pelos departamentos de comércio e saúde e serviços humanos, datado de janeiro de 1997, refere que a telemedicina possui o potencial para fazer a diferença nas vidas de americanos que vivem em zonas rurais remotas onde profissionais de saúde e pacientes se encontram afastados por centenas de kms. Em casos de emergência, onde o tempo de resposta dos serviços médicos é muito importante ou são requeridos serviços especiais, a disponibilidade da telemedicina pode ser crítica. Por exemplo, um especialista da Universidade da Carolina do Norte conseguiu diagnosticar à distância uma fractura da espinal medula a um paciente rural através de imagens vídeo de telemedicina. A vida do paciente foi salva porque os cuidados iniciais foram tomados no local, sem ter havido necessidade de transportar o paciente fisicamente até ao especialista que se encontrava muito distante do paciente. Segundo o mesmo relatório a telemedicina possui o potencial de aumentar a distribuição de cuidados médicos pela disseminação de serviços como radiologia, dermatologia, e de serviços de saúde mental. Poderá ainda fomentar a fixação de profissionais de saúde em zonas rurais já que pode funcionar como instrumento para treino e colaboração com outros profissionais e instituições.

Existem mesmo já diversas associações de fornecedores e instituições a fornecer

serviços nesta área. A ATSP-*Association of Telemedicine Service Providers*, norte-americana, EIT - *European Institute of Telemedicine*, envolvida no projecto GETS-*Global Emergency Telemedicine Service* [WWW-GETS 95], ITC - *International telemedicine Center*, etc. Diversos hospitais estão actualmente a desenvolver projectos experimentais em telemedicina, nomeadamente em hospitais do Canadá, EUA, Austrália, França, Itália, etc.

Nas últimas décadas têm igualmente sido desenvolvidos dispositivos diversos para cirurgia à distância e telediagnóstico :

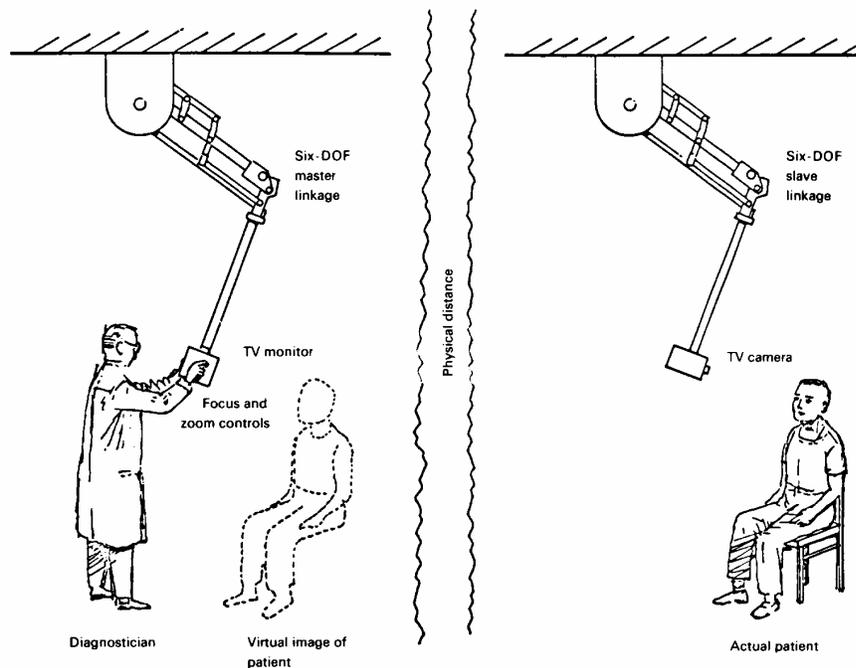


Fig. 2.6 - Telediagnóstico médico com display móvel e câmara vídeo *slave* providenciando telepresença [de SHERIDAN 92].

Em diversas outras áreas como parques temáticos de diversões, operações militares, vigilância, agricultura e extracção de minério existem actualmente empresas a vender produtos e serviços de teleoperação. Outras indústrias como a construção civil, inicialmente distantes, e mesmo relutantes, na adopção de tecnologia desta área, parecem agora mostrar sinais de mudança.

Em Portugal tem-se assistido igualmente a alguns desenvolvimentos de mecanismos

teleoperados. O Instituto Superior Técnico está actualmente a desenvolver um projecto de construção de uma aeronave não tripulada (projecto ARMOR) com aplicações na área da vigilância do espaço marítimo português e prevenção contra incêndios, monitorizando a zona marítima exclusiva e zonas florestais críticas. A aeronave estará equipada com câmaras vídeo que permitem fornecer ao operador terrestre informação sobre as zonas que se pretendem vigiar. O dispositivo contém um sistema autónomo de navegação podendo ser retomado o seu controlo a pedido da sala de controlo terrestre. Existe igualmente um projecto de um veículo aquático não tripulado a ser controlado à distância e providenciando informação sensorial diversa que permitem a sua navegação.

2.2 Teletrabalho

Jack Niles inventou o conceito de teletrabalho em 1973, tendo-se posteriormente dedicado à investigação com o propósito de efectivar a sua implementação prática. Em 1994 existiam 7,8 milhões de teletrabalhadores em todo o mundo, prevendo-se 30 milhões para o ano 2000 [TELEPAC 97]. Segundo o autor existem actividades facilmente adaptáveis ao conceito de teletrabalho e outras de muito difícil implementação. As pessoas que trabalham totalmente com informação (programadores de informática, processamento de texto, concepção gráfica, etc.) serão teletrabalhadores ideais. Do outro lado temos profissões como os jardineiros e operários que forçosamente têm de estar nas suas empresas.

Os dois maiores benefícios do teletrabalho são o aumento de produtividade, entre 5% e 20%, e a economia de custos imobiliários. Em inquéritos realizados aos teletrabalhadores 3% a 5% referem que lhes faz falta o contacto humano no escritório. Porém 97% afirmam que nunca voltarão atrás. Em relação à produtividade dessas pessoas ela continua a aumentar, mesmo quando passa a fase da novidade e o teletrabalho se torna rotina.

Em Portugal o número de pessoas a realizar teletrabalho tem verificado aumentos significativos nos últimos anos, tendo atingido os 200 mil teletrabalhadores em 1997. Existem razões para acreditar que o teletrabalho continue a crescer a bom ritmo em

Portugal. Entretanto surgiram algumas empresas e consórcios para prestação de serviços nesta área, como a empresa Telemantenção, que tem como objectivo fornecer teleserviços em diversas áreas (contabilidade, tradução, processamento de texto, computação gráfica, programação e assistência técnica a computadores) e o consórcio TELEPAC & TRACY.

Nos países mais desenvolvidos tem-se registado aumentos muito significativos do número de teletrabalhadores. O projecto europeu TenTREND envolve 19 organizações provenientes de 11 países europeus e pretende identificar todas as tendências e limitações (económicas, tecnológicas e sociológicas) que irão condicionar o desenvolvimento do teletrabalho na Europa nos próximos anos. Em 1995 o número de teletrabalhadores na Europa ultrapassou a marca do milhão, sendo o Reino Unido o mercado mais activo com quase 600 mil teletrabalhadores seguido da França e Alemanha com 200 mil e 150 mil respectivamente. As taxas de crescimento de 94 para 95 ultrapassaram em alguns países os 50%, situando-se a média em torno dos 30%.

O ECTF-*European Community Telework/Telematics Forum*, dinamizado e apoiado pela Comissão Europeia, numa carta de princípios de 31 de janeiro de 1996 prevê 10 milhões de pessoas a realizar teletrabalho no ano 2000 na União Europeia [WWW-ECTF 96].

Segundo Jack Niles o conceito de teletrabalho está ligado a uma mudança cultural em preparação para o século XXI prevendo que esta mudança atinja o pico em 2013 ou 2014, com a maior parte das pessoas a fazer teletrabalho.

2.3 Teleoperação em sistemas de fabrico assistido por computador

Os exemplos de dispositivos, objecto de teleoperação, são essencialmente robots e ROV's. Estes dispositivos são vulgarmente muito específicos, muito caros, e concebidos com funcionalidades ajustadas ao tipo de controlo pretendido, isto é, à distância.

Cada elemento é único e serve para um conjunto de missões e experiências, sendo

posteriormente adaptado a novas missões. Estes dispositivos são desenvolvidos por centros de investigação de reconhecido mérito, sendo a sua construção levada a cabo por equipas interdisciplinares das áreas de projecto mecânico, materiais, telecomunicações, sistemas de controlo, tecnologias da informação, etc. Os meios que dispõem para a implementação são também os mais avançados, desde comunicação por satélite, sistemas digitais (hardware e software) avançados, etc.

Em termos industriais poucos são os equipamentos concebidos para que possam ser operados de localizações diferentes da sua instalação física. Os sistemas de produção actuais não exigem essa funcionalidade. Porém os novos conceitos de sistemas produtivos, desenvolvidos nas últimas décadas apontam, ou sugerem, essa necessidade, como se verá no capítulo 3.

Estes equipamentos de fabrico não podem ser exageradamente caros. O volume produtivo destes equipamentos deverá ser muito superior aos robots teleoperados e ROV's e os requisitos de controlo, em termos de custos operacionais, têm de ser reduzidos.

A aplicação dos conceitos de teleoperação a equipamentos industriais tem sido muito mais lenta que a verificada nas áreas da robótica e dos ROV's. À data de redacção deste documento não temos conhecimento de qualquer instalação na indústria. Existem sim algumas experiências, desenvolvidas a partir do início da década de 90, levadas a cabo por centros de investigação.

Em 1992 Mitsuishi, [MITSUISHI et al. 92] descreveu uma instalação protótipo de operação e controlo de um centro de maquinagem. Esta máquina estava instalada na universidade de Tóquio, no Japão, e o centro de operações ficou localizado na universidade George Washington, nos EUA. As experiências efectuadas relatam a obtenção de sucesso no controlo da máquina a partir de locais diferentes do mesmo edifício, em Tóquio, e a partir do centro de operação em Washington. O sistema protótipo foi descrito pelos autores como tecnologia base para a construção de um “*inter-world intelligent manufacturing system*”, o que possibilitaria que engenheiros de projecto e de produção, globalmente distribuídos, colaborassem de forma eficiente e conveniente na concepção, desenvolvimento e produção de protótipos de produtos. Usando este sistema um engenheiro de projecto com uma nova ideia pode aceder à

tecnologia de fabrico necessária para construção do protótipo, mesmo que essa tecnologia esteja localizada remotamente. Espera-se que estas capacidades aumentem a criatividade dos seres humanos dado que o sistema proposto cria um ambiente onde o equipamento pode ser facilmente fabricado para testar novas ideias. Até agora as simulações em computador têm sido largamente utilizadas no teste de novos conceitos sendo no entanto muito desejável que estas simulações sejam complementadas com resultados experimentais.

As tecnologias chave, descritas pelos autores, para implementação de um sistema de fabrico global incluíam:

1. Interfaces Homem-Máquina amigáveis
2. Sistemas de comunicações de acesso global
3. Sistema sensorial externo e de conhecimento de estado da máquina.

As comunicações entre o centro de controlo e o centro de operações foram implementadas através de redes de computadores. A informação necessária à criação do ambiente virtual remoto foi conseguido pela instalação de vários sensores junto do centro de maquinagem que permitiam manter o operador remoto ao corrente dos acontecimentos. Os sensores instalados foram de força, de deformação, audio e vídeo.

A instalação protótipo demonstrou que a informação audio era muito importante dado que a qualidade da informação vídeo não era suficientemente boa para avaliar as condições da ferramenta e da superfície da peça. Por outro lado, a informação visual provou ser indispensável em situações de recuperação e má operação. Ou seja, a informação auditiva revelou-se muito importante em situações normais de maquinagem e a informação visual em situações em que ocorrem erros inesperados. Nas experiências realizadas o atraso temporal nas comunicações variou entre 0,7 e 1 segundo.

Em 1996 Kao e Lin [KAO and LIN 96], da Universidade da Austrália do Sul, apresentaram algumas extensões das tecnologias CAD/CAM para pontos múltiplos e distantes. O sistema proposto permite a co-edição de geometrias CAD à distância e é baseado numa implementação UNIX de comunicação entre processos e no modelo

cliente-servidor. O sistema pode fornecer como resultado programas CN a fornecer a um centro de maquinagem para realização efectiva das peças concebidas. Os autores designaram o sistema de 'cocadcam'- COLaborative CAD/CAM. No exemplo de aplicação descrito, a funcionar sobre LANs, RDIS (acesso básico a 64Kbps), ou Internet, o utilizador que possui o *token*, designado por "*creator*" pode gerar ou alterar as geometrias, os restantes utilizadores que não possuem o *token*, designados por "*observer*", não o podem fazer. Este mecanismo assegura a congruência das acções sobre um mesmo objecto.

Os benefícios que os autores apresentam são: redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos, fabrico do produto mais adequado no local mais conveniente, eliminação do tempo de expedição do produto, aumento da competitividade, aumento do lucro. Referem ainda que as companhias multinacionais podem alocar as suas equipas de pessoal a um nível internacional evitando a disponibilidade e custos de salários por forma a aumentarem a sua competitividade. O sistema desenvolvido vem de encontro às necessidades crescentes de produção global que estabeleceu requisitos de ambiente para colaboração em sistemas CAD/CAM.

Capítulo 3

SISTEMAS DE PRODUÇÃO VIRTUAIS, DISTRIBUÍDOS E OPIM

3.1 Sistemas de Produção Virtuais

A última década foi pródiga no desenvolvimento de novos conceitos e tecnologias, dando origem a novas oportunidades de negócios, mercados em expansão e mudanças nos sistemas produtivos. A era da informação embebeu as empresas produtivas num ambiente propenso à dispersão geográfica de várias empresas, envolvidas na manufactura de produtos diversos, a escalas produtivas com fortes variações e possuindo recursos múltiplos que são combinados para constituir o que é conhecido por uma Empresa Virtual (Virtual Enterprise, VE). A resolução de problemas e tomada de decisão é levada a cabo por equipas flexíveis que ultrapassam a individualidade empresarial e se distribuem no tempo e espaço.

Tecnicamente, uma empresa virtual define-se como uma rede reconfigurável de pequenas empresas, especializadas em determinados processos, que se configuram para agarrar uma oportunidade de negócio, desde a concepção à manufactura do produto [PARUNAK 94].

Estas empresas têm de possuir uma estrutura organizacional muito leve e aberta para possibilitar reconfigurações rápidas.

Segundo Janowski e Acebedo [JANOWSKI and ACEBEDO 96] alguns dos requisitos tecnológicos para a implementação de empresas virtuais são:

1. O desenvolvimento de uma infraestrutura baseada em informação que permite partilhar dados de engenharia, produção e do negócio.
2. Métodos e ferramentas de concepção e planeamento avançados, que permitem otimizar as funções das várias empresas de acordo com as suas possibilidades, capacidades, disponibilidades e custos.
3. Desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão que permita identificar e verificar a adequação dos parceiros candidatos mais aptos para o tipo de produto.

Kochlar [KOCHLAR 97] considera que, num mercado global de competição ao mais alto nível, é cada vez mais importante a selecção de parceiros numa base global. As barreiras tradicionais da distância e do tempo podem ser ultrapassadas pela adopção de avanços recentes das tecnologias de informação. Parceiros em diversas partes do mundo podem comunicar em tempo real e contribuir com as suas competências mais fortes no projecto, planeamento, produção, marketing e venda de produtos individuais.

O mesmo autor refere que a realização efectiva do sistema proposto apresenta muitas dificuldades de implementação prática. Desde logo a agilidade interna de reacção à mudança; a flexibilidade e competências dos funcionários; o tipo de tecnologia usada; o processo de introdução do produto; o sistema de comunicações e o sistema contabilístico e financeiro.

Steven Kim [KIM 90] refere que em cima das fábricas reais coexiste um conjunto de construções abstractas designadas por Fábricas Virtuais. Uma fábrica virtual é definida como uma sequência de operações produtivas implementadas na maquinaria da oficina fabril real. Cada fábrica virtual suporta a manufactura de um só produto da fábrica real. A sua configuração é definida pelas especificações do produto a fabricar.

Uma fábrica virtual define-se por uma sequência de processos em oposição a

máquinas. Desta forma dois produtos consecutivos produzidos pela mesma fábrica virtual podem de facto ser produzidos em máquinas diferentes nas oficinas fabris.

A separação de operações lógicas e dispositivos físicos permite particionar a complexidade. As mudanças de configuração do hardware têm um impacto muito pequeno na lógica das operações produtivas.

3.2 Sistemas de Produção Distribuídos

As duas interpretações mais referidas de Sistemas de Produção Distribuídos são as interpretações relacionadas com o controlo distribuído de sistemas de produção e com a distribuição espacial das funções de sistemas de produção.

O controlo distribuído de sistemas de produção é baseado em modelos de *Multi-Agent Systems* (MAS). *Multi-Agent Systems* são definidos como uma rede de agentes que cooperam para solucionar um problema. Este tipo de abordagem foi concebida com o objectivo de resolver um problema que ultrapassa as capacidades individuais de cada agente ou para resolver de forma eficiente um problema de elevada complexidade. O processo de decisão é agora distribuído pelos agentes, em oposição aos sistemas com tomada de decisão centralizada. Com base nesta abordagem os sistemas distribuídos são definidos como uma coleção de agentes que se podem ver como uma organização, definida como uma composição de estrutura e regime de controlo, Fox, 1994 in [KÁDÁR et al. 98]. Este modelo não implica qualquer distribuição espacial dos elementos do sistema.

A segunda interpretação de sistemas de produção distribuídos [PUTNIK 98a] refere a distribuição espacial dos elementos do sistema. Este modelo não implica controlo distribuído em termos de *Multi-Agent Systems*.

Uma implementação deste modelo é bem conhecida sob a designação de *Global Manufacturing*. Existem actualmente muitas implementações do conceito de *Global Manufacturing*. Se considerarmos o modelo hierárquico de organização e de controlo do sistema de produção então estas implementações de *Global Manufacturing* são

aplicadas apenas ao nível das funções de gestão do negócio do sistema (empresa). As funções de gestão de negócio são distribuídas geograficamente e independentes da distância mas as funções de planeamento e controlo de produção permanecem agregadas ao espaço fabril, figura 3.1a). Teoricamente, podemos considerar igualmente a distribuição geográfica das funções de planeamento e controlo de produção. Isto significa que estas funções devem ser separadas do espaço fabril, figura 3.1b).

Com base nesta abordagem os sistemas distribuídos são definidos como sistemas de produção cujas funcionalidades e desempenhos não dependem da distância física (espacial) dos elementos do sistema.

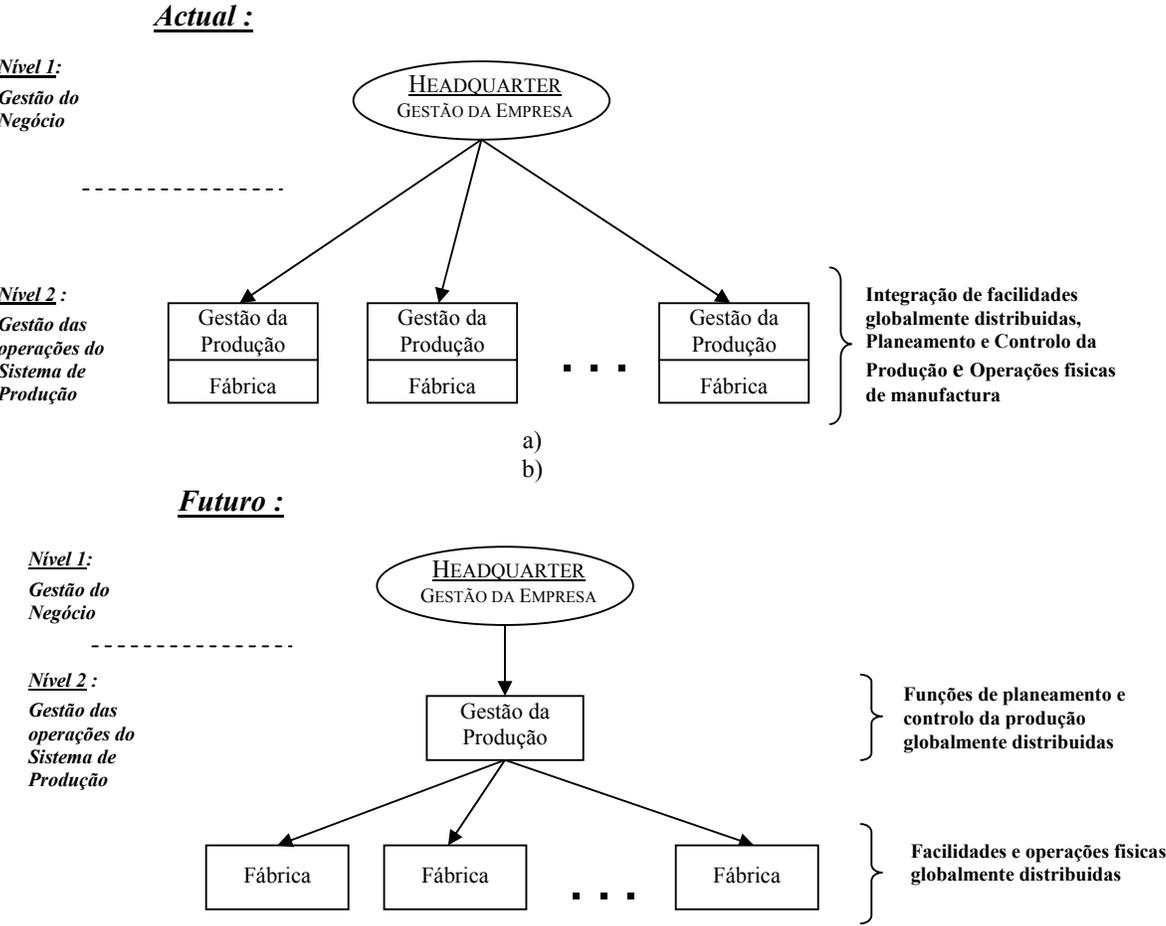


Fig 3.1 - Fases da implementação do conceito *Global Manufacturing* [PUTNIK 98b].

3.3 Sistemas OPIM

One-Product-Integrated-Manufacturing (OPIM) é um novo conceito de quadro organizacional para sistemas produtivos integrados para manufactura de um produto específico [PUTNIK and SILVA 95], [PUTNIK 97]. Segundo os autores, sistemas de produção concebidos para fabrico de vários produtos são tecnicamente menos eficientes quando comparados com sistemas dedicados. A performance máxima é atingida por sistemas produtivos dedicados a um único produto, constituindo-se uma nova estrutura produtiva para cada novo produto. A concepção do produto e dos respectivos processos produtivos devem ser decompostos num conjunto de tarefas particulares sendo seleccionados e alocados os recursos mais adequados a cada tarefa. O domínio de selecção de recursos é o conjunto de todas as células, (máquinas-ferramentas, dispositivos de transporte, computadores, células de produção) que possuem a capacidade de realização das funções produtivas, que estão conectadas por redes de dados e utilizam tecnologias telemáticas.

O domínio de selecção de recursos deverá ser o mais abrangente possível por forma a proporcionar a melhor escolha. O sistema OPIM define uma instância de um modelo geral de sistema de produção. O processo de projecto do sistema produtivo é levado a cabo através de negociação entre a empresa “líder”, que inicia o processo, e as células candidatas à realização das funções produtivas, incluindo concepção, planeamento e controlo da produção.

Baseado em objectivos e critérios de performance a empresa líder selecciona a melhor estrutura da empresa. A melhor estrutura da empresa é constituída a partir de células primitivas, recursos unitários, especializadas num tipo de serviço (concepção, planeamento, gestão e produção) e num tipo de produto.

O sistema OPIM gerado deverá ser o que possui a melhor performance para o produto de entre o mercado potencial de células produtivas. Todas as funções de projecto, planeamento e produção são baseadas em informação e independentes da distância entre as unidades produtivas. As unidades produtivas podem estar localizadas em qualquer parte do mundo desde que estejam conectadas por redes de comunicação.

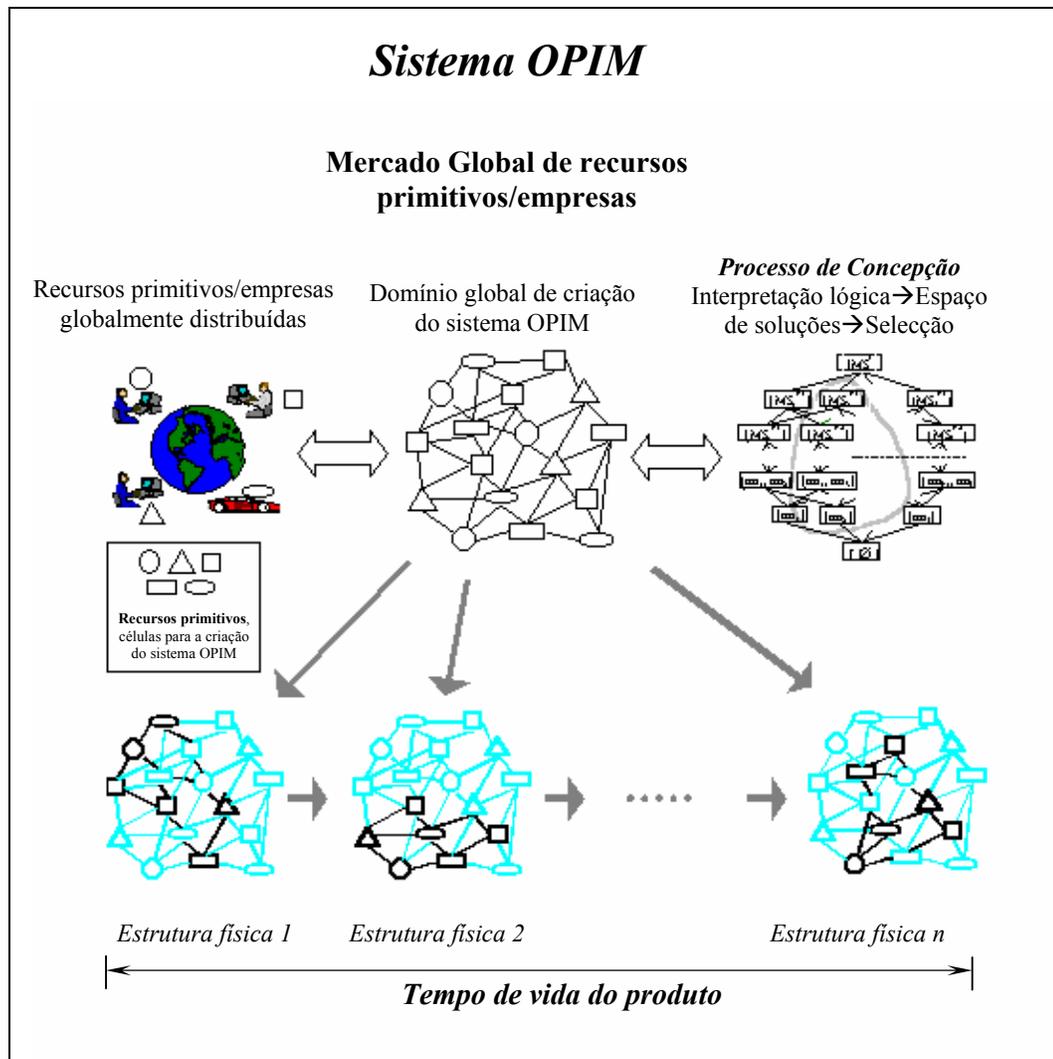


Fig. 3.2 - Selecção de recursos primitivos do mercado global para sistemas OPIM [de PUTNIK 97].

O sistema OPIM é essencialmente um sistema de produção distribuído ao mais alto nível. Este novo conceito de sistemas produtivos possui uma estrutura dinâmica, constituindo um sistema produtivo por cada novo produto, o que implica uma nova estrutura e abordagem dos sistemas produtivos.

3.4 Importância dos teleserviços na implementação de SPV/SPD/OPIM

Esta tese pretende fornecer uma contribuição para a construção de sistemas de fabrico assistido por computador, em ambientes globalmente distribuídos. Estes sistemas vêm de encontro aos conceitos mais recentes de quadros organizacionais para estabelecimento de sistemas produtivos avançados. Os conceitos de Sistemas de Produção Virtuais (SPV), Sistemas de Produção Distribuídos (SPD)⁷ e One-Product-Integrated-Manufacturing (OPIM) possuem características comuns e apontam para consolidação de:

1. Informação como recurso estruturante dos sistemas.
2. Redes de computadores que permitem a transferência do recurso estruturante, a informação, à escala global (planetária).
3. Sistema de controlo baseado em independência espacial e temporal sobre operações elementares dos equipamento físicos.

As funções de controlo que se pretendem estabelecer são ao nível de recursos elementares (máquinas-ferramentas, robots, transportadores, AS/RS, etc.), responsáveis pela execução de cada operação de fabrico, de transporte e armazenamento.

As funções de controlo ao nível da operação efectiva dos equipamentos produtivos (recursos elementares) levanta sérias questões práticas, uma vez que a selecção, interface e controlo em tempo-real tem de ser feito à distância. A globalidade de escolha permite, teoricamente, a selecção acertada do melhor recurso para a realização de tarefas específicas, introduzindo simultaneamente um grau de independência temporal e espacial efectivas. No entanto, dado não ser esta a forma tradicional de operação dos equipamentos industriais, há que conceber interfaces que permitam ultrapassar a barreira espacial entre o operador remoto e o equipamento.

O desenvolvimento de teleserviços de âmbito global com suporte em redes de computadores é portanto essencial à implementação efectiva de sistemas com as características descritas.

⁷ - A designação *Global Manufacturing Systems*, usada por alguns autores, pode ser incluída no conceito de Sistemas de Produção Distribuídos quando a distribuição for considerada à escala planetária.

3.5 Organização do projecto de investigação para SPV/SPD/OPIM

3.5.1 Esquema organizacional geral

O esquema organizacional de projecto e operação de SPV/SPD/OPIM, apresenta-se na figura 3.2. Este esquema apresenta os sub-projectos mais relevantes, as suas interdependências, funções de controlo (ambiente, pré-condições) e ferramentas requeridas.

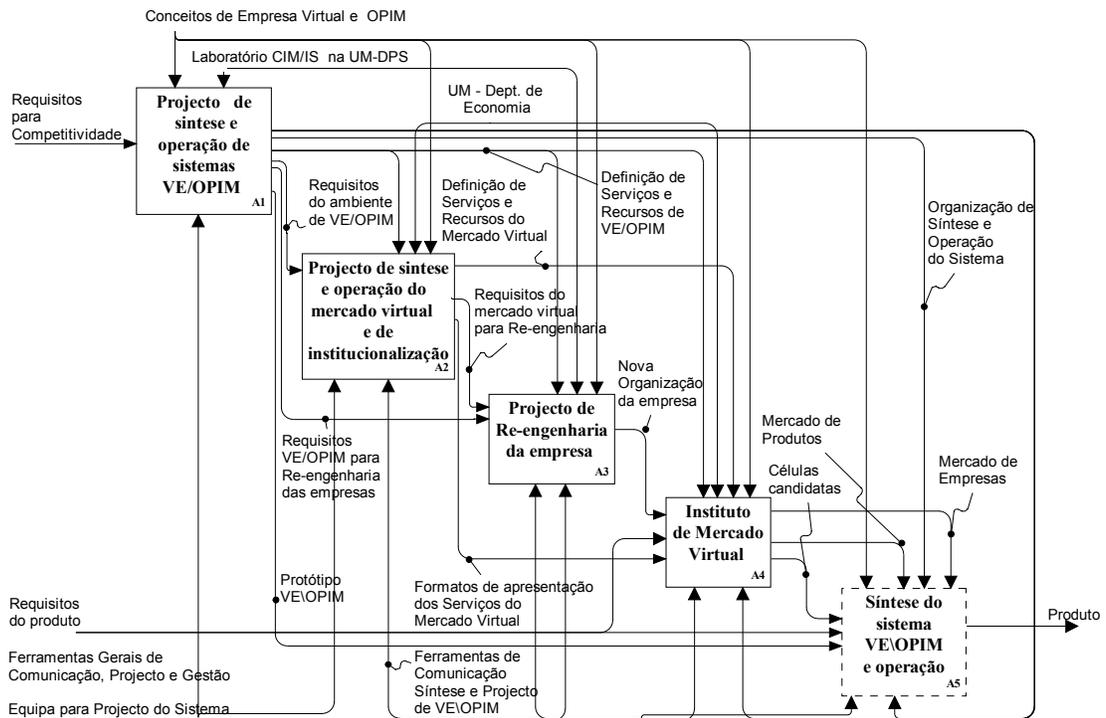


Fig. 3.3 – Procedimento de institucionalização de sistemas VE/OPIM [de PUTNIK et al. 96].

3.5.2 Enquadramento do projecto

Este trabalho insere-se nos sub-projectos de concepção da estrutura de operação concreta de recursos elementares de produção (equipamentos industriais) realizada à distância, através de redes de computadores e recursos elementares de operação e controlo. Fornece igualmente uma contribuição para a operação de sistemas VE/OPIM,

já que a implementação operacional construída, se enquadra nestes sistemas.

Após a selecção e alocação de tarefas concretas a recursos primitivos há que proceder à realização efectiva dessas mesmas tarefas. O ambiente de realização efectiva está situado em qualquer ponto do mundo, desde que satisfaça os requisitos básicos que o permitem definir como recurso candidato, o mesmo acontecendo com o ambiente de operação e controlo.

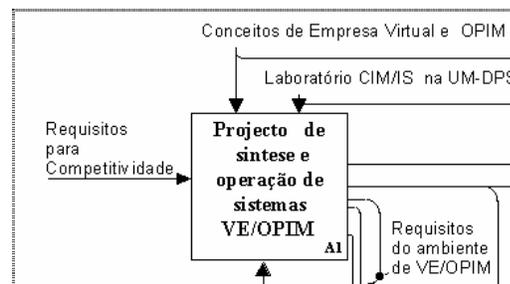


Fig. 3.4 – Enquadramento do projecto nos sistemas VE/OPIM [de PUTNIK et al. 96]

Existe a necessidade de desenvolvimento de interfaces telemáticas entre três tipos de recursos; o conhecimento e habilidade humana, os processos e os computacionais. É necessário portanto construir interfaces telemáticas para controlo de equipamentos industriais, interfaces entre sistemas computacionais e entre estes e o homem.

Pela integração destes recursos, globalmente distribuídos, torna-se possível a realização de sistemas baseados nos conceitos de produção global, de empresa virtual e OPIM.

Capítulo 4

ESTRUTURA FUNCIONAL DO SISTEMA

4.1 Introdução

Os sistemas de produção modernos, bem como os robots industriais, são sistemas avançados de automação que usam os computadores como parte integrante do seu controlo. Os computadores são hoje em dia componentes vitais de automação, controlam sistemas de manufactura, máquinas-ferramentas diversas, máquinas de corte por laser, máquinas de soldadura, etc. São igualmente responsáveis pelo funcionamento de linhas de produção e começam a tomar o controlo de fábricas inteiras. Os robots mais avançados executam operações diversas no espaço fabril, contribuindo para o aumento do grau de automação das fábricas e afastando o homem progressivamente das operações fabris. De notar que uma fábrica controlada automaticamente é um desenvolvimento recente da revolução industrial que se iniciou na Europa dois séculos atrás, tendo progredido nas seguintes etapas [KOREN 83] :

1. Construção de máquinas de manufactura simples e mecanização por volta de 1770.
2. Na viragem do século surgem mecanismos de automação fixa e linhas de

transferência para produção em massa.

3. Máquinas-Ferramentas com controlo automático baseado em sequências fixas de operações.
4. Introdução do Controlo Numérico (CN) em 1952 abrindo uma nova era na automação.
5. Aparecimento dos sistemas de Controlo Numérico por Computador (CNC) como extensão natural do controlo numérico de máquinas-ferramentas.
6. Os robots industriais foram desenvolvidos simultaneamente com os sistemas CNC. O primeiro robot comercial foi produzido em 1961 porém estes dispositivos não desempenharam um papel relevante até final da década de 70.
7. Fábricas automáticas, implementadas através de Sistemas de Produção Flexíveis (SPF) e ferramentas de Projecto Assistido por Computador e de Fabrico Assistido por Computador (CAD/CAM)

A nova era de automação, iniciada pela introdução das máquinas-ferramentas de controlo numérico foi estimulada, sem dúvida alguma, pelo aparecimento do computador. A tecnologia digital e o computador permitiram a concepção de sistemas de automação flexíveis, nomeadamente sistemas que se podem adaptar, através da programação, para produzir um novo produto num intervalo de tempo muito reduzido.

Actualmente flexibilidade é a palavra chave que caracteriza a nova era da automação de sistemas de produção. Os sistemas produtivos tornam-se progressivamente mais flexíveis em consonância com os avanços das tecnologias computacionais e técnicas de programação.

O homem foi progressivamente alterando o seu papel nos sistemas produtivos, passando a exercer funções de concepção/programação das funções produtivas e subsequentes funções de controlo, acompanhando desta forma o progresso tecnológico dos equipamentos produtivos e dos sistemas de informação. As funções passaram a ser de nível mais elevado e o trabalho mais “limpo” dado o seu afastamento directo das operações fabris. Desta forma o homem eleva sustentadamente o seu nível de actuação

nas unidades industriais, passando de funções exigentes ao nível físico, desde o início da industrialização, para funções exigentes ao nível cognitivo. As últimas novidades, desta evolução, são os sistemas totalmente automatizados e os que não requerem a presença física do homem nas instalações fabris.

4.2 Requisitos de controlo

O modelo hierárquico da estrutura de controlo de máquinas (máquinas-ferramentas CN e robots) é apresentado na figura 4.1 e é baseado no modelo proposto em 1979 por Barbera, Albus e Fitzgerald [BARBERA et al. 79].

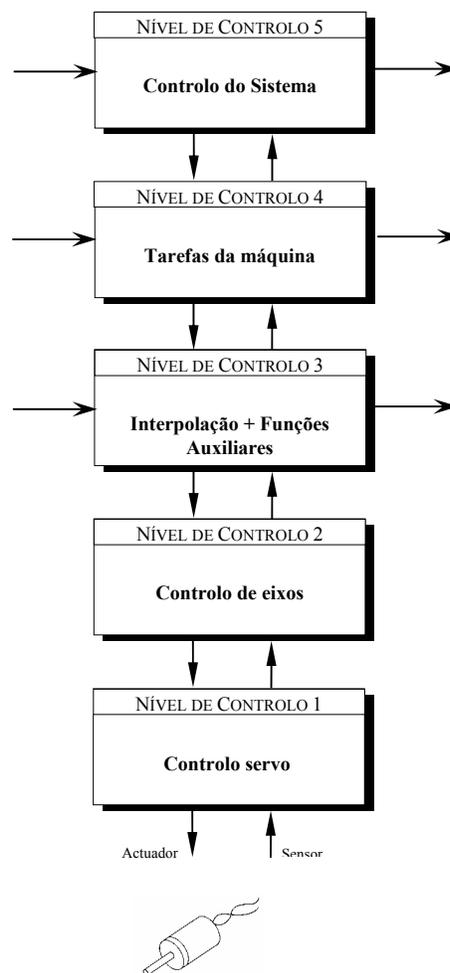


Fig. 4.1 - Estrutura de controlo hierárquico para máquinas-ferramentas de CN e robots.

Algumas formas de implementação deste modelo hierárquico são sintetizadas na

figura 4.2. Da esquerda para a direita, podemos observar a mutação no tipo de intervenção humana: de intervenções activas no controlo das tarefas para funções de monitorização das mesmas, sem desempenho activo no respectivo controlo. De realçar igualmente a passagem de algumas dessas funções de controlo para o computador, responsável em alguns casos pelo encerramento completo da malha de controlo.

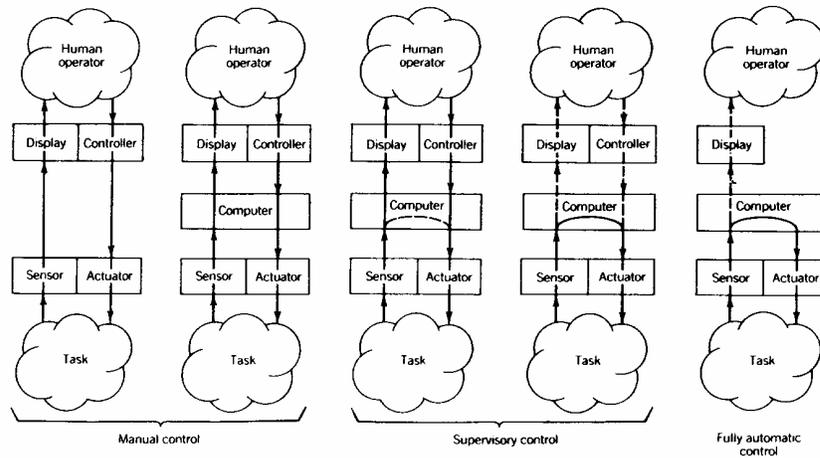


Fig. 4.2 – Espectro dos modos de controlo. As linhas contínuas mostram as malhas de controlo fundamentais. As linhas a tracejado indicam as malhas de controlo alternativas e funções de monitorização. [de SHERIDAN 92].

O tipo de controlo a implementar na construção da instalação protótipo será controlo de supervisão levado a cabo por operadores humanos e baseado em controlo ao nível da tarefa. Uma implementação concreta do controlo de supervisão pode ser observada na figura 4.3 :

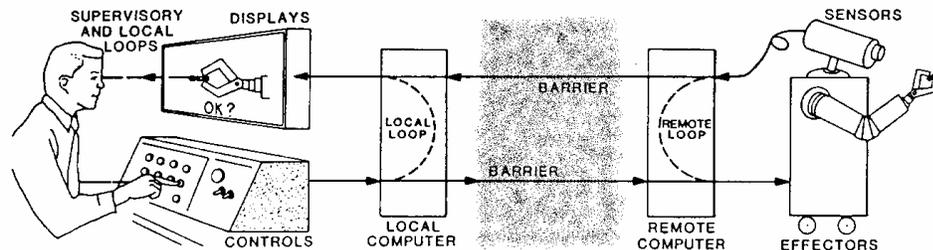


Fig. 4.3 - Conceito de controlo de equipamentos remotos [de FERREL and SHERIDAN 67].

As redes de computadores permitem romper a barreira espacial do controlo dos

equipamentos e estabelecer interfaces lógicas (baseadas em aplicações informáticas) em oposição às interfaces rígidas⁸ (baseadas em painéis de controlo), aumentando assim a flexibilidade de alteração das mesmas, permitindo contemplar melhoramentos e inclusão de novas funções.

As máquinas-ferramentas de CN, quando objecto de teleoperação, possuem vários problemas de concepção uma vez que são concebidas e construídas com a assunção que um operador humano irá manipular localmente o painel da unidade de controlo (UC) da máquina para realizar determinadas tarefas :

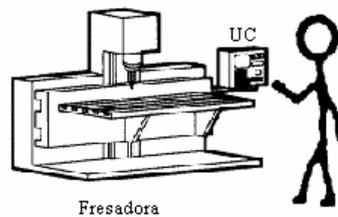


Fig. 4.4 – Máquina-ferramenta de CN controlada localmente por um operador humano.

Quando se pretende controlar uma máquina à distância algumas funções de alto nível podem ser distribuídas geograficamente. As funções de mais baixo nível permanecem agregadas à unidade de controlo do dispositivo. Incluem-se nestas, as funções dos níveis de controlo 1, 2 e 3. Estes níveis de controlo são responsáveis, respectivamente, pela tradução em sinais de tensão elementares para accionamento dos elementos de operação (actuadores) e aquisição de sinais provenientes de sensores, para fecho da malha de controlo, pelo controlo de cada eixo e pelos algoritmos de interpolação de movimentos dos eixos e funções auxiliares.

As funções de mais alto nível, nomeadamente tarefas a locar à máquina, por exemplo um programa para controlo da máquina, podem então ser coordenadas à distância, o que significa a disseminação das funções de monitorização e controlo. Ou seja, a disseminação espacial das funções do 4º nível de controlo. A figura 4.5 apresenta o modelo de controlo hierárquico para uma aplicação concreta em que o 4º nível de controlo é realizado pelo homem através de computadores e redes de longa distância

⁸ - *Software based interfaces* em oposição a *Hardware based interfaces*.

que estabelecem os meios lógicos e físicos para a actividade de controlo à distância.

O 5º nível de controlo, responsável pela selecção, monitorização e coordenação de todo o sistema, ou seja, escolha de um recurso da rede global de recursos, para execução de um determinado produto, negociação das condições globais e específicas de utilização do recurso e coordenação da produção do mesmo não é abordado no presente projecto, sendo tema de outros projectos actuais de investigação.

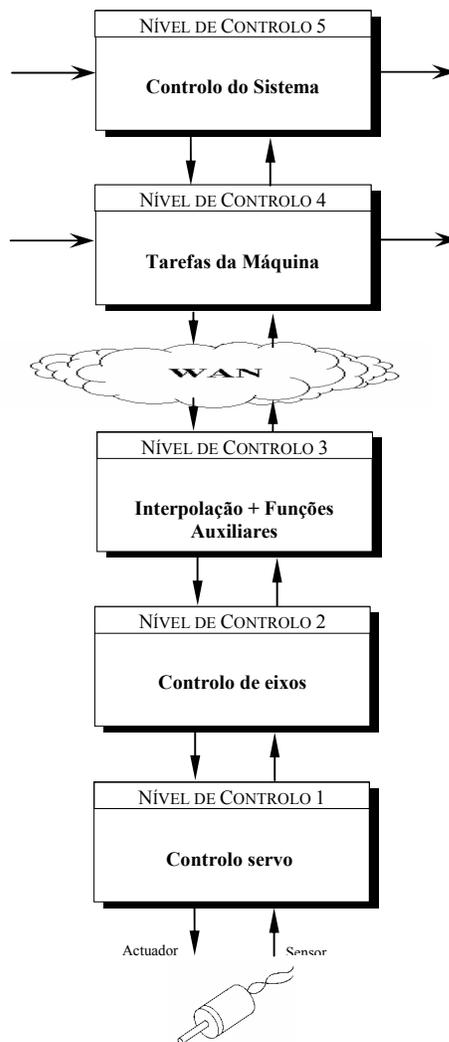


Fig. 4.5 - Estrutura de controlo hierárquico para equipamento controlado remotamente.

O que se espera de um sistema deste género é que reproduza as condições de manipulação humana e de sensorização para que se possam tomar decisões e actuar

efectivamente equipamentos remotos.

Este projecto ataca portanto o nível de controlo 4 (tarefa da máquina), que significa o interface ao operador remoto, o interface à rede de comunicações global, o interface ao equipamento produtivo e a monitorização sensorial à distância. Em resumo, a construção de um sistema de base para a operação real de um equipamento produtivo à distância, suportado por tecnologias digitais.

Quanto a requisitos temporais para fecho da malha de controlo, como esta malha é realizada ao nível da tarefa, os requisitos não são elevados. Normalmente um operador tem tempos de reacção superiores a 1 segundo, desde que detecta que tem de actuar até ter concluído a manipulação sobre os botões do painel de controlo da máquina.

4.3 Requisitos sensoriais

O operador humano necessita informação sensorial, de estado do equipamento e do ambiente envolvente, que lhe permitem criar uma sensação de presença, aumentando a confiança nas decisões que vai tomando para controlar efectivamente o equipamento físico. As questões mais importantes que se levantam, em termos de requisitos sensoriais são :

- Que tipos de informação são necessários ?
- Qual a frequência de aquisição ?
- Qual a forma mais apropriada de apresentar essa informação ao operador humano?
- Qual o atraso temporal de transmissão desde o local onde está instalado o equipamento e o local onde está instalada a unidade de controlo ?

Mitsubishi et al., na sua instalação experimental de teleoperação de um centro de maquinagem [MITSUBISHI et al. 92], descreve o uso de um sistema de sensorização para aquisição de som, vídeo e outros tipos de sinais digitais e analógicos.

Informação vídeo

A visão é um dos órgãos sensoriais mais utilizados em todas as tarefas humanas. Em

certos casos é muito difícil efectuar uma boa avaliação da situação sem recurso a sequências de imagens. A quantidade de informação requerida para chegar à mesma avaliação, sem usar imagens, pode ser tão grande que impossibilite o controlo em tempo real. No entanto a quantidade de informação necessária para codificar uma imagem é bastante elevada. Uma imagem de 800 por 600 *pixels* a 16,7 milhões de cores (24 bits) ocupa 1.44 Mbytes. Uma boa sequência de imagens pode requerer velocidades de até 30 imagens por segundo, o que significaria 43.2 Mbytes por segundo. Se tivermos em conta que uma ligação RDIS se faz a **n*64** Kbits por segundo facilmente compreendemos que é necessário limitar a variedade de cores, a quantidade de *pixels* presentes numa imagem, a quantidade de imagens a transmitir para aproximar as características de vídeo e ainda a adopção de algoritmos de compactação e de actualização de imagens.

Informação audio

Especialmente durante a maquinagem ou movimentação de eixos o som produzido é utilizado pelos operadores de máquinas-ferramentas para detectar regimes de maquinagem apropriados e inapropriados, movimentação ou imobilização da máquina, quebra de ferramentas e outras situações. Uma ligação permanente de audio consome à volta de 8 Kbits por segundo

Informação de estado do equipamento

Muitos equipamentos possuem LEDs e outros elementos visuais que permitem fornecer ao operador, de forma expedita, um aviso ou mensagem de estado da máquina. Como por exemplo, ocorrência de algum erro interno, deformação da estrutura física da máquina, indicação do modo de operação actual, indicação do programa e da linha do programa em execução, indicação de comando incompatível com o seu estado/modo de funcionamento actual, aviso de prontidão para recepção de dados pela porta série, etc.

Informação do ambiente envolvente ao equipamento

Como o operador não está presente no local envolvente da máquina é necessário fornecer-lhe igualmente alguma informação complementar. Exemplos: temperatura

ambiente, humidade, vibração provocada no processamento das peças, abertura/fecho do dispositivo de guarda, informação de presença/ausência de peças e ferramentas nos respectivos dispositivos, estado de equipamentos auxiliares, como mecanismos de prensão e posicionamento da matéria-prima, etc.

Os dados provenientes destes sensores deve chegar ao operador remoto em tempo útil. A informação a ser transmitida é um compromisso entre a velocidade de transmissão e a quantidade de informação. Teoricamente, quanto maior a quantidade de informação útil transmitida maior é o grau de confiança do operador remoto relativamente às decisões que vai tomando.

Dadas as limitações de velocidade nos meios físicos de transmissão e supondo que o protótipo do sistema seja instalado sobre um meio físico de transmissão partilhado por diversos utilizadores é impossível garantir o atraso máximo de transferência de informação sensorial.

Há portanto que decidir que informação é importante em cada instante, com que cadência deve ser transmitida e como lidar com os atrasos temporais.

4.4 Requisitos de actuadores externos

Dado que o operador remoto não vai poder efectuar qualquer actividade física directa sobre a máquina, painel da unidade de controlo e equipamentos auxiliares, excepto as funções que estejam previstas, realizadas por elementos actuadores implementados localmente e operados à distância, é necessário planear os sistemas actuadores externos.

Assim, mecanismos operados remotamente como câmaras vídeo com focagem e *zoom*, montadas sobre dispositivos do tipo *Pan & Tilt* fornecem-nos funcionalidades extremamente úteis mas que julgamos quase irrelevantes quando operamos máquinas localmente dado essas funções serem imediatas quando estamos fisicamente presentes. Por exemplo, se queremos ver melhor a informação de dimensões reduzidas que nos aparece no monitor do painel da unidade de controlo da máquina só temos que aproximar-nos um pouco mais até vermos com correcção a informação pretendida. Se

de seguida pretendermos observar o resultado da actuação de um botão do painel da unidade de controlo, por exemplo de movimentação de um eixo, só temos que desviar temporariamente a atenção dos nossos olhos para a estrutura da máquina.

Sistemas complementares de colocação/remoção, posicionamento automático e fixação de matéria prima, peças semi-acabadas e ferramentas assumem agora um grau de elevada importância. Estes elementos devem possuir actuadores que sejam controlados remotamente.

Alguns elementos de aviso de situações de emergência, de indicação de mau funcionamento ou de necessidade de intervenção de um operador local, devem também ser pensados, especialmente em fases em que ainda não existe confiança suficiente sobre as instalações, dado serem tecnologias recentes e projectos semi-industriais. Exemplos de alguns destes dispositivos são os sinais luminosos e sinais sonoros actuados a partir da sala de operações remota.

4.5 Interfaces

No momento actual os interfaces do utilizador para equipamentos complexos abundam: câmaras de vídeo, televisores, carros, calculadoras, etc. A necessidade de construção de interfaces foi aumentando à medida que os equipamentos se tornaram mais complexos. Por exemplo, as máquinas de lavar roupa mais antigas eram muito simples e possuíam poucas opções; as máquinas actuais são concebidas para realizar várias funções possuindo um interface para que o utilizador especifique as condições de lavagem, como, temperatura, carga, velocidade de centrifugação, etc.

De forma similar, os primeiros computadores eram usados para tarefas relativamente simples como somas e subtracções e a ideia de um interface do utilizador dificilmente merecia ser considerado. Hoje em dia os computadores cobrem uma vasta gama de actividades, requerendo interfaces do utilizador para os especializar na realização de determinadas tarefas. A interactividade com o computador beneficia directamente o seu utilizador imediato. Estes benefícios são mais evidentes quando a concepção do sistema não é suficientemente boa, dito por outras palavras, quando um interface é mau

apercebemo-nos da importância que o mesmo se reveste, dado acarretar um esforço adicional e, em alguns casos, danos irreversíveis. O interface do utilizador está intimamente ligado à interactividade de sistemas de computação complexos.

Os equipamentos produtivos actuais são concebidos e fabricados com o pressuposto de que um operador manipulará localmente os botões do painel da unidade de controlo provocando acções concretas do equipamento. Igualmente se pressupõe que a monitorização do equipamento é realizada pelo operador no local exacto em que o mesmo se encontra. Este interface ao operador é realizado através do painel da unidade de controlo da máquina que consiste numa série de botões rotativos, botões de pressão, LEDs, écrans, etc.

Como mencionado por Alan Dix [DIX 94] não existe uma resposta fácil à questão “O que faz com que um interface seja um bom interface?”. Porém têm sido construídos Interfaces Homem-Máquina (IHM) ao longo de décadas. É possível aproveitar a estrutura e funcionalidades dos IHM tradicionais dos equipamentos produtivos para conceber um interface digital remoto que mantenha a aparência e funcionalidades, minimizando desta forma as dificuldades de adaptação a uma nova forma de controlo.

Quando se pretende operar uma máquina à distância é necessário desenvolver um interface amigável e robusto. Desta forma os problemas, emergentes do facto da pessoa a realizar o controlo se encontrar distante do equipamento produtivo, podem ser minimizados.

Na realidade é necessário contruir três interfaces, em oposição a um único interface nos sistemas tradicionais, como se pode verificar na figura 4.6 :

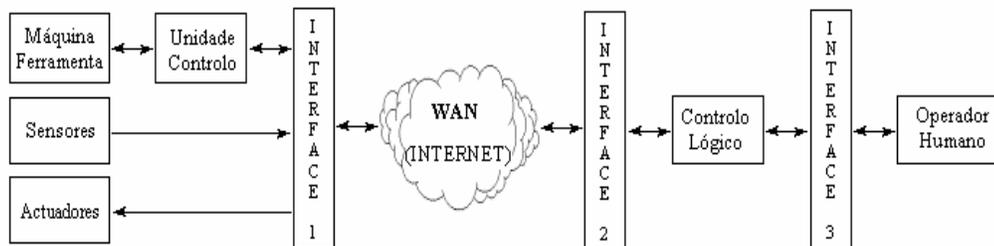


Fig. 4.6 - Estrutura lógica dos interfaces requeridos para teleoperação de máquinas-ferramentas.

Interface 1 – Adquire dados da unidade de controlo e dados sensoriais externos ao equipamento produtivo, formata-os e envia-os pela Internet. Recebe programas e comandos do painel Virtual remoto e envia-os para a fresadora através da porta série. Envia igualmente comandos para os actuadores externos.

Interface 2 – Recebe dados, sensoriais e de estado, do ambiente local à máquina, fornecidos pelo Interface 1 e enviados através da internet e remete-os ao Interface 3. De igual forma traduz comandos gerados pela interface do operador remoto em código apropriado à execução na máquina-ferramenta e envia-os ao interface 1.

Interface 3 – Traduz acções concretas do operador sobre o painel virtual remoto em comandos a realizar, por exemplo, click do rato num botão para enviar e executar um programa de controlo numérico na máquina. Apresenta a informação, sensorial e de estado, com origem no ambiente local à máquina de uma forma agradável ao operador.

4.6 Comunicações

Desde o aparecimento do computador e das tecnologias telemáticas verificou-se um aumento tremendo da capacidade computacional e das taxas de transmissão de informação nas redes. Nesta última década, com o advento de serviços muito populares, como o World Wide Web (WWW), o acesso remoto a informação vulgarizou-se, tornando-se acessível a grande parte da população dos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento. As empresas despertaram finalmente para as tecnologias telemáticas, e começam agora a vê-las como ferramentas complementares para o desenvolvimento do seu negócio e mesmo como ferramentas estratégicas de manutenção e crescimento do negócio.

Os equipamentos digitais e as redes de computadores são agora utilizados com crescentes exigências, incentivando o aparecimento de tecnologias de informação cada vez mais evoluídas e abrangentes. A área da multimédia é um exemplo perfeito da evolução a que nos referimos. O acesso a informação sob formatos mais próximos dos

requisitos do utilizador final, por exemplo, som, imagem, vídeo e texto, tornou os produtos mais apetecíveis, tornando banal tecnologia que à bem pouco tempo estava disponível apenas em laboratórios de investigação e utilizada por poucas pessoas de áreas muito especializadas.

Tabela 4.1: Desempenho de sistemas computacionais e redes de computadores [de HEINRICHS et al 93]

Year	Workstations (MIPS)	Year	Networks (Mbit/sec)	
1980	0.1	1970	0.01	(e.g. DATEX-P)
1985	1-3	1975	0.1	
1989	5-15	1989	10	(e.g. Ethernet)
1991	60	1990	100	(e.g. FDDI)
1993	120	1995	150-600	(ATM)
[1998	600]	[2000	>1000	(Gigabit networks)]

Torna-se aparente, mesmo a partir desta rude lista de valores numéricos, que o crescimento dos desempenhos dos recursos computacionais e das redes não tem sido muito diferente, e aponta para crescimentos muito significativos.

Em março de 1989, Tim Bernes-Lee do *European Particle Physics Laboratory* (conhecido como CERN) propôs um projecto para ser usado como base para a disseminação de investigação e ideias pela organização. A necessidade era pertinente já que os membros do CERN estavam espalhados por diferentes países. A primeira proposta consistia num sistema simples que usava hipertexto⁹ em rede como forma de transmissão de documentos e de comunicação entre os membros do CERN.

Não existia qualquer intenção de adicionar som ou vídeo e a capacidade de transmissão de imagens não foi considerada. Em finais de 1990, a primeira aplicação para Web foi introduzida numa máquina NeXT e tinha a capacidade de transmitir documentos em hipertexto para outras pessoas da internet, tendo associada a capacidade de edição de hiperdocumentos. Desde então muitos milhares de pessoas de todo o mundo têm contribuído de forma activa para o desenvolvimento deste serviço, que entretanto se tornou o mais popular dos serviços telemáticos.

A vulgarização da utilização da Internet foi despoletada pelo aparecimento de uma ferramenta de procura de páginas de informação, que continha uma interface simples,

⁹ - O hipertexto consiste num texto normal (passível de armazenamento, leitura, edição, procura, etc.) com uma importante excepção, o hipertexto contém ligações a outros textos presentes em outros documentos.

era independente da localização geográfica e estava disponível através de um computador pessoal vulgar, desde que conectado em rede.

O conceito de acesso a informação para todas as pessoas e em qualquer parte do mundo, sonho de muitas pessoas durante muitos anos, tornou-se realidade. A multiplicação do número de fornecedores de informação e dos respectivos clientes não se fez esperar.

O modelo Cliente-Servidor, amplamente desenvolvido e utilizado nas comunicações entre computadores serve de base à maior parte das aplicações que funcionam em rede. O serviço Web não é excepção. Existe uma aplicação servidora que fornece as páginas de informação e as aplicações clientes que requerem a informação. A aplicação servidora fica constantemente “à escuta” de pedidos de ligação e quando finalmente um cliente a requer o servidor envia-a e aguarda novas solicitações.

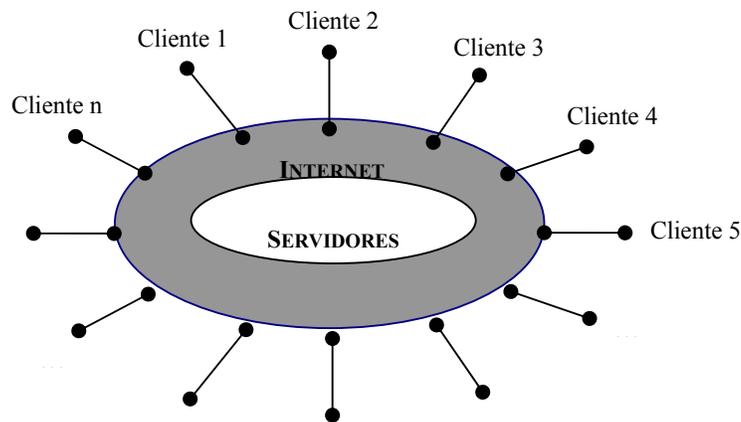


Fig. 4.7 - Estabelecimento de conexões Cliente/Servidor sobre TCP/IP.

4.7 Recursos de processamento de matéria prima

Os equipamentos produtivos representativos das actividades industriais são as máquinas-ferramentas de controlo numérico e os robots industriais. A escolha do equipamento para implementação da instalação protótipo recaiu sobre as máquinas-ferramentas.

As razões que apoiaram esta decisão foram:

1. Teleoperação destes equipamentos ainda muito pouco vulgarizada.

2. Base de instalações muito superior aos robots industriais.
3. Disseminação destas máquinas por pequenas, médias e grandes empresas de diversos sectores de actividade.
4. Disponibilidade de uma máquina-ferramenta de controlo numérico para implementação do protótipo.

O controlo numérico evoluiu da seguinte forma:

1. Controlo Numérico (Numerical Control, CN)
2. Controlo Adaptativo (Adaptiv Control, AC)
3. Controlo Numérico por Computador (Computer Numerical Control, CNC)
4. Controlo Numérico Distribuido (Direct/Distributed Numerical Control, DNC)

Actualmente existem 4 formas de implementações de CNC :

1. “Black Boxes” Proprietárias

O sistema de controlo tradicional de CNC consiste em *Hardware* e *Software* de um único fabricante. As desvantagens deste sistema são o custo elevado (inicial e de operação) das “*Black boxes*”, a criação de ilhas de automação, dado que as máquinas de uma célula não conseguem comunicar entre si nem com as restantes máquinas da empresa. Os dispositivos não seguem o modelo “*Plug-and-Play*” e só os vendedores/fabricantes possuem as placas para reparação e o conhecimento para o fazer. A natureza de componentes tipo “*black boxes*” proprietários significa pequena quantidade, custos elevados e disponibilidade reduzida. A forma de implementar uma arquitectura aberta nesta configuração advém unicamente do suporte RS-274 e conexões Ethernet dispendiosas. Algumas empresas fornecem soluções ao nível do sistema servo, mas somente pessoas do fabricante podem instalar, prestar assistência e manutenção do sistema de controlo.

2. “Front end” baseado em Computador

Os fabricantes de sistemas de controlo tradicional oferecem agora a “*black box*” adicionada de um PC. O PC “*front end*” permite que o fabricante instale e execute aplicações baseadas em Windows ao nível do controlo, enquanto a “*black box*” CNC proprietária opera a máquina ferramenta em *background*. Os utilizadores CNC obtêm alguns benefícios mas a um preço elevado. Apesar de esta abordagem permitir que o fabricante mantenha um interface ao utilizador, comum numa família de controladores, permanece a dependência a pessoal especializado para instalação e manutenção. Mais uma vez os componentes críticos só estão disponíveis num único fabricante, geralmente por um determinado espaço de tempo e a um custo elevado.

3. “*Motion Control*” baseado em Computador

As placas possuem *software* embebido (*firmware*) desenvolvido especialmente para a placa de controlo. O pacote disponibiliza mais opções, como servo, opções I/O, Memória do PC, placas Ethernet, e a habilidade para executar aplicações Windows. Porém, as placas de movimentação (cérebro) continuam a ser proprietárias, pelo que continuamos nas mãos do fabricante das placas de controlo. O fabricante tem igualmente de instalar, fazer manutenção e prestar serviços. É impraticável fazer actualizações do controlo para versões mais poderosas. Estas placas só podem ser fornecidas pelos fabricantes do sistema de controlo.

4. CNC baseado em aplicações informáticas

Poucos produtos tomam esta aproximação. Consiste em aplicações que não estão dependentes de nenhum *hardware* específico e que pode correr em qualquer equipamento que o utilizador escolha. A evolução desta aproximação é análoga ao percurso executado pelas ferramentas CAD, desde o início da década de 80, quando a *Autodesk* começou a oferecer *software* de desenho que podia ser executado em qualquer tipo de PCs, em oposição a terminais proprietários dedicados.

Ao escolher *software* independente do *hardware* para CNC o utilizador pode escolher onde instalar, quem instala, treina e dá suporte. As empresas podem assim requisitar os serviços de uma terceira entidade, um integrador de sistemas, por exemplo. Podem instalar elas próprias o *software* e colocar o PC na rede. Com CNC baseado em aplicações informáticas a empresa pode adicionar sucessivamente novo *hardware* ou

software através de actualizações incrementais para melhorar a produtividade da máquina-ferramenta. Isto significa que a empresa pode proteger os seus investimentos em máquinas-ferramentas, formação e dados do espaço fabril. Um exemplo de CNC baseado em *Software* é-nos fornecido pela *Great Lakes Industries* (GLI), onde em 1993 decidiram usar o OpenCNC da *Manufacturing Data Systems Inc.* (MDSI).

A empresa *Manufacturing data Systems Inc* (MDSI) foi fundada por Charles Hutchins e Bruce Nourse em 1969 em Ann Arbor, Michigan. A empresa desenvolveu a linguagem de programação de CN – COMPACT II, que rapidamente se tornou uma das mais usadas na indústria metalomecânica. A MDSI foi entretanto adquirida pela Schlumberger em 1980 e, mais tarde, adquiriu igualmente a Applicon, uma empresa pioneira no desenvolvimento de sistemas CAD/CAM. O nome MDSI foi posteriormente abandonado. Entretanto os sistemas de desenvolvimento de programas baseados em linguagens como o COMPACT II foram substituídos por *software* de programação gráfica executável em PCs e *Workstations*.

Em 1989, Hutchins e Nourse voltaram a unir-se como sócios e fundaram uma nova empresa, a *Software Algorithms, Inc.* (SAI) e, mais tarde, re-adotaram o antigo nome - MDSI. O fundamento da nova empresa reside no conceito de uma arquitectura aberta para CNCs (*Computer Numerical Controls*) em máquinas-ferramentas. Este conceito é visto pela MDSI sob duas perspectivas:

Uma nova aproximação à conexão da máquina ferramenta com o respectivo equipamento de controlo.

Uma nova aproximação à interligação da máquina ferramenta aos restantes equipamentos da oficina ou empresa através de uma rede integrada.

Desde logo ficou claro que o computador pessoal produziria uma plataforma de custo reduzido de suporte ao fabrico integrado (*Integrated Manufacturing*). A visão do sistema era que as máquinas ferramentas deixariam de ser ilhas isoladas de automação passando a ser dispositivos periféricos, controlados em tempo real por PCs a partir de uma rede de longa distância que interliga as unidades fabris da empresa. Aplicações informáticas, em oposição a *hardware* electrónico específico, controlariam as máquinas e a produção, de forma similar ao uso dos PCs nas restantes funções de negócio da

empresa.

O seu conceito de integração física e funcional do equipamento produtivo com sistemas de computação da empresa de longa distância requer uma arquitectura de controlo aberta e modular nas máquinas-ferramentas. Esta forma de pensar é a antítese dos sistemas de controlo baseados em *hardware* proprietário que não possuem abertura para possibilitar a integração completa dos sistemas. A MDSI concebeu um produto para concretizar esta visão e nomeou-o de OpenCNC. Este produto pretendia ser o *software* de controlo da máquina que um dia serviria como *software* de base à implementação das suas ideias de fábricas do futuro. Em Agosto de 1993, depois de 4 anos de desenvolvimento, o *software* OpenCNC ficou pronto para teste nas empresas.

OpenCNC é um sistema de controlo CNC baseado integralmente em *software*. Foi concebido para eliminar a dependência dos utilizadores finais relativamente ao *hardware* proprietário, incluindo placas de controlo de movimentação para PCs. De acordo com a empresa o servo controlo é fechado completamente com a execução do *software* num único processador Intel. Todos os algoritmos de controlo de movimentação servo, tradicionalmente realizado nas placas de controlo de movimentação são parte do *software* que corre no processador standard do PC.

OpenCNC está a ser usado actualmente na produção numa variedade de máquinas ferramentas, incluindo centros de maquinagem de dois a cinco eixos, tornos com 2 e 4 eixos, rectificadoras, etc. De acordo com Jim Fall (vice-presidente de marketing da MDSI), as empresas estão a demonstrar um forte interesse no OpenCNC quer na actualização de máquinas ferramentas antigas quer na implementação em máquinas novas. Muitas empresas possuem máquinas ferramentas que ainda produzem peças boas possuindo no entanto unidades de controlo obsoletas. A implementação do OpenCNC permite às empresas prolongar o tempo de vida das suas máquinas ferramentas.

Segundo Hutchins, os equipamentos de controlo, além das suas funções de controlo das máquinas ferramentas, possuem o potencial de recolher informação crítica do processo, como tempos de ciclo, velocidades de avanço, tempos de *setup*, etc. Os produtores precisam desta informação em tempo real, sem intervenção dos operadores, se quiserem melhorar continuamente os seus processos de obtenção de qualidade crescente, redução de custos e redução de tempo de criação/produção dos produtos.

Hutchins acredita que o OpenCNC é o tipo de controlo que os produtores necessitam para recolher e distribuir informação pela empresa tendo em atenção que este sistema controla actualmente os *drives* de máquinas ferramentas nas oficinas das empresas.

OpenCNC não corre nos sistemas operativos DOS ou Windows, dado não serem verdadeiros sistemas operativos em tempo-real. Em máquinas-ferramentas e outros equipamentos produtivos a capacidade de operar em tempo-real é essencial pois torna o sistema extremamente fiável. OpenCNC usa o sistema operativo QNX, desenvolvido para aplicações em tempo-real. Don Werner, da Great Lakes Industry (GLI), refere que em 4 anos nunca teve um “*Crash* de sistema”, usando o OpenCNC nas suas 16 máquinas. Algumas delas operam 20 horas por dia, 6 dias por semana. Actualmente a MDSI está a avaliar 3 produtos que irão fornecer extensões de tempo-real ao Windows NT para OpenCNC.

De facto também outras empresas fabricantes de unidades de controlo para máquinas-ferramentas de controlo numérico estão a migrar para soluções baseadas em computadores pessoais. A aposta destas empresas é no sentido de fornecerem soluções abertas de CNC baseadas nas potencialidades mais promissoras dos PCs. Desta nova junção do CN com o computador pessoal espera-se melhorar o desempenho das máquinas-ferramentas, aumentar a produtividade, reduzir custos, manter a fiabilidade e proteger os investimentos dos clientes.

4.8 Especificação do modelo geral do sistema e do sistema a desenvolver

O modelo geral de sistemas de teleoperação para equipamento industrial está representado na figura 4.8 :

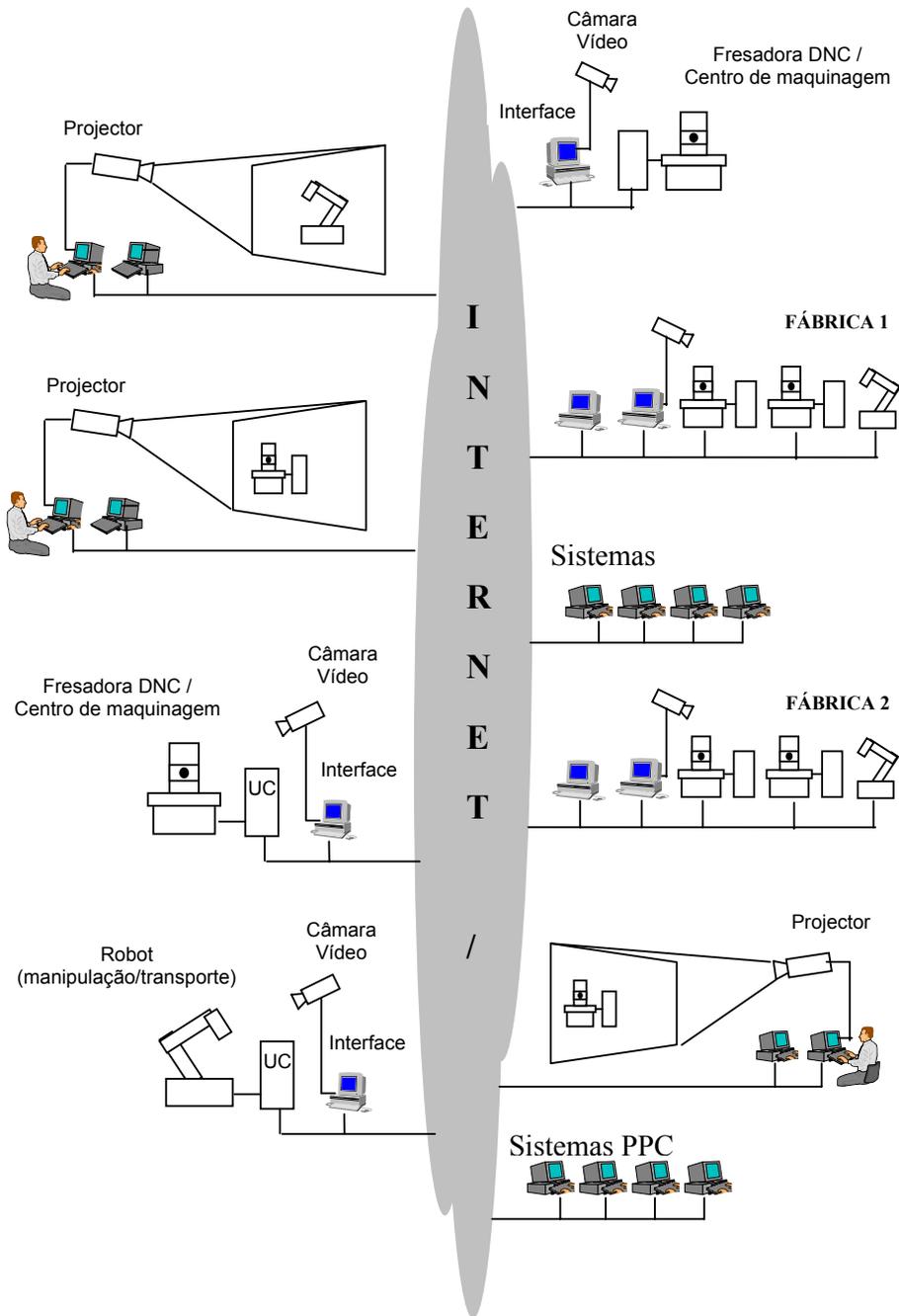


Fig. 4.8 - Representação informal de sistemas de teleoperação para CAM. O protótipo terá apenas uma sala de operações e uma sala de controlo e irá controlar-

se apenas uma máquina, figura 4.9.

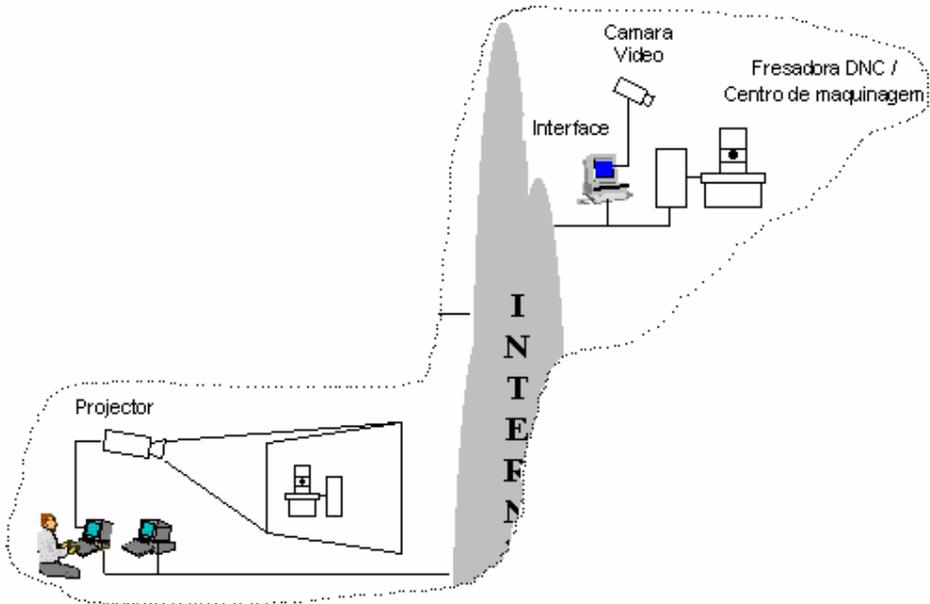


Fig. 4.9 – Sistema protótipo a desenvolver.

O diagrama da representação formal, utilizando a técnica de especificação formal ESTELLE (*Extended Finite State Machine Language*), para sistemas de fabrico assistido por computador baseados em teleoperação é apresentado na figura 4.10 :

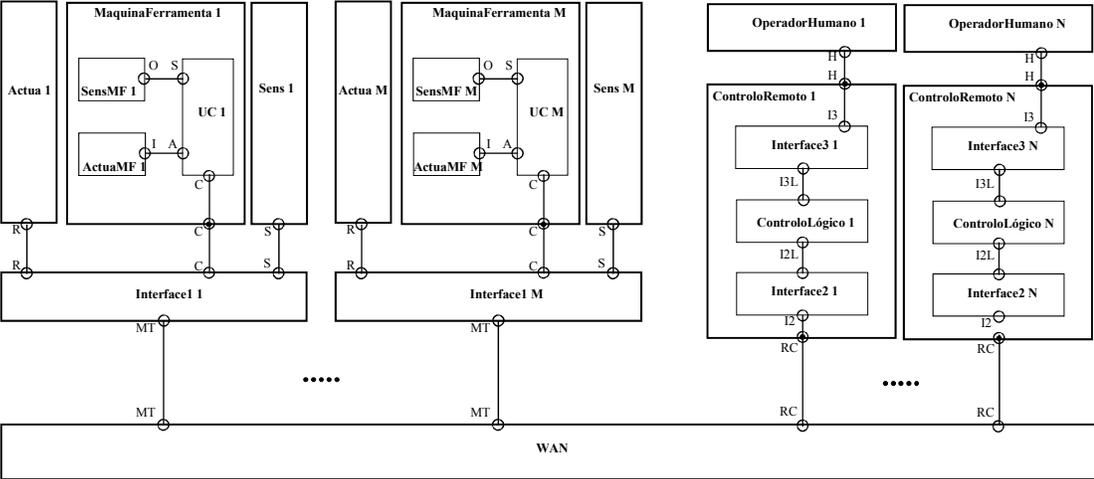


Fig. 4.10 - Representação formal em ESTELLE de teleoperação de sistemas CAM.

A instalação protótipo para teleoperação inclui uma fresadora de controlo numérico, alguns sensores (digitais e analógicos), câmara de vídeo e microfone, e um actuador (sinal sonoro). A respectiva representação em ESTELLE encontra-se na figura 4.11 :

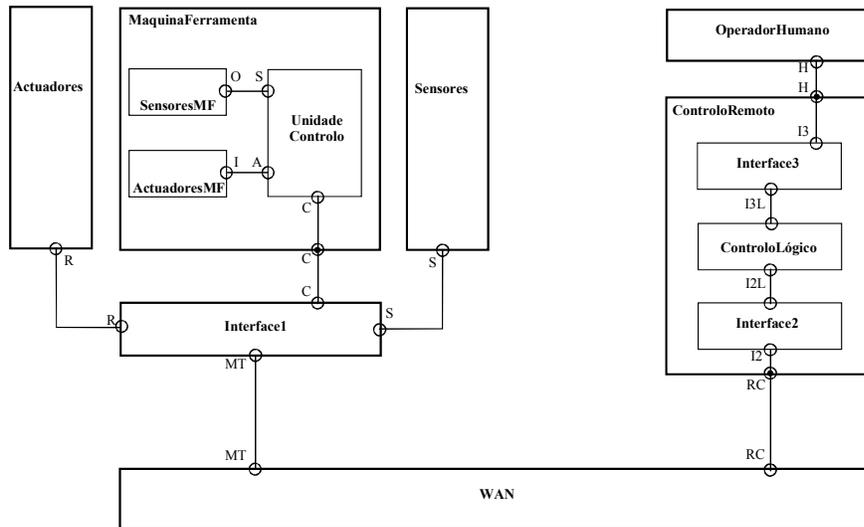


Fig. 4.11 - Representação formal em ESTELLE da instalação protótipo de um sistema CAM baseado em teleoperação ao nível da tarefa [de MOREIRA et al. 98].

Nota: A especificação formal na linguagem ESTELLE não foi considerada relevante para a presente tese. Excertos da especificação formal de sistemas de teleoperação e sistemas CIM podem ser encontrados nos artigos [MOREIRA et al.98], [SOUSA et al. 98] e [PUTNIK et al. 98]. Estes artigos abordam esta especificação formal com alguma profundidade mas apenas de algumas partes dos sistemas dado que a sua explanação completa seria muito extensa.

Capítulo 5

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA PROTÓTIPO

5.1 Descrição global do sistema

O desenvolvimento do protótipo foi organizado conforme o plano apresentado no diagrama *IDEF0* da figura 5.1 :

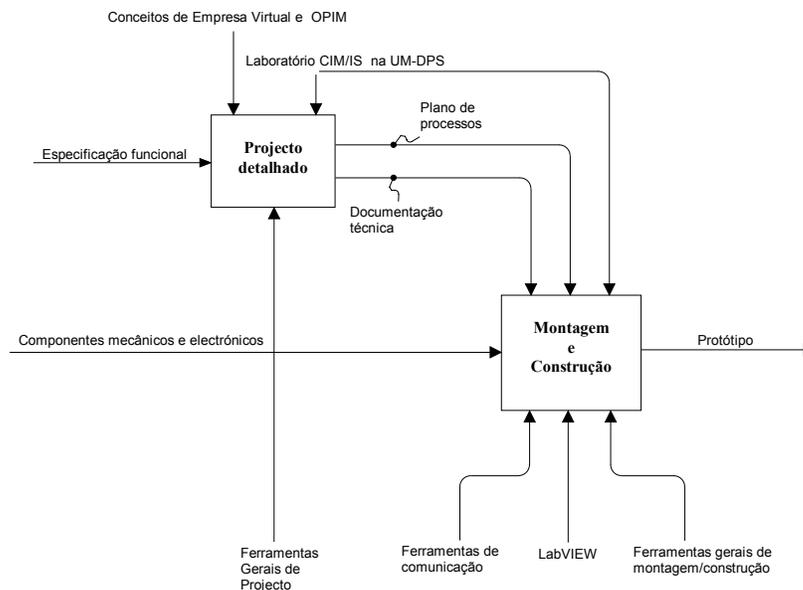


Fig. 5.1 – Esquema organizacional de desenvolvimento da instalação protótipo.

O protótipo construído, demonstrativo de aplicações para operação à distância de equipamentos industriais, foi implementado sobre uma rede global de comunicações, a rede Internet, utilizando o protocolo TCP/IP e a estrutura Cliente-Servidor.

A aplicação cliente, responsável pelo Interface 2, Controlo lógico e Interface 3, encontra-se instalada num computador remoto, situado na sala de controlo, onde um utilizador opera e controla a fresadora de controlo numérico. Esta aplicação pode estar instalada em qualquer computador desde que este possua ligação de rede e o protocolo TCP/IP.

A aplicação servidor, responsável pelo Interface 1, está instalada num computador local, muito próximo da fresadora e situado num ambiente fabril.

A fresadora, computador local e elementos de sensorização artificial estão fisicamente sediados num laboratório do Departamento de Mecânica (bloco C do polo de Azurém) da Universidade do Minho. O computador local (um PC Pentium 120) está conectado à fresadora pela porta série, e ligado à rede de computadores da universidade. Sobre a ligação física de rede encontra-se a ligação lógica - o protocolo TCP/IP, vulgarmente conhecido por Internet.

No Laboratório de Sistemas Automáticos de Produção (LASAP) do Departamento de Produção e Sistemas (bloco B do polo de Azurém) encontra-se o sistema de controlo constituído por dois computadores pessoais, ambos com acesso Internet. Um dos computadores recebe informação proveniente do sistema de vídeo e áudio, instalado junto da fresadora. O outro recebe dados sensoriais dos sensores binários e analógicos externos à fresadora e realiza o interface ao operador remoto para realização de tarefas sobre a fresadora, como envio de programas de CN¹⁰ e envio de comandos, bem como de funções do próprio programa cliente, como estabelecimento de uma sessão de trabalho remota, indicação de sucesso ou insucesso na ligação, etc :

¹⁰ - Entenda-se programas CN como sendo programas de controlo numérico na linguagem dos “Gês” bem como traduções de comandos do painel de controlo da fresadora para a linguagem dos “Gês”.

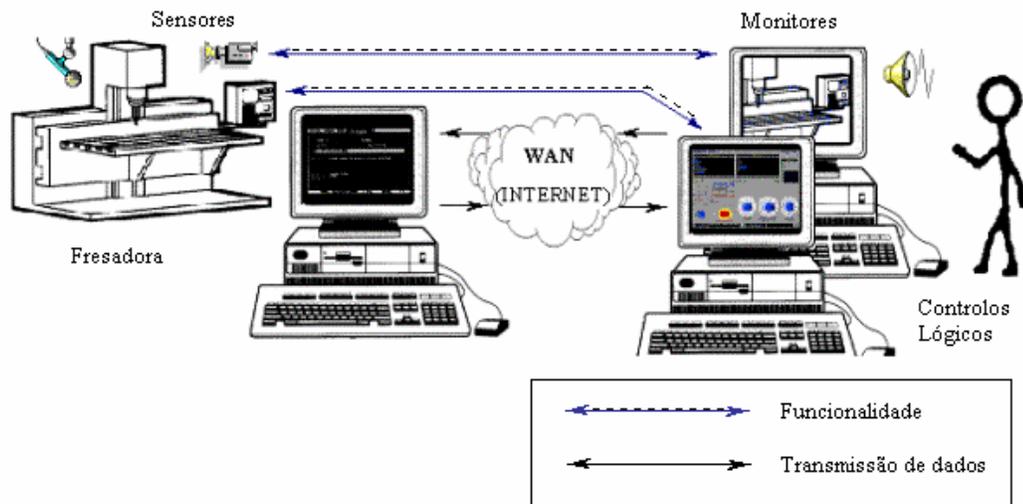


Fig. 5.2 - Teleoperação de uma fresadora de controlo numérico [de MOREIRA et al. 98].

Em operação, o operador remoto começa por estabelecer uma ligação de videoconferência à fresadora, via TCP/IP, para monitorização do seu funcionamento. Estabelece ainda uma segunda ligação de rede para monitorização dos restantes dados sensoriais, e controlo efectivo das funções da máquina. Após isto procede ao seu controlo e monitorização efectiva.

5.2 Fresadora FFI FV-100

Para construção do sistema protótipo, que demonstra a possibilidade de teleoperação de máquinas industriais, foi escolhida uma fresadora de comando numérico, instalada nas oficinas do Departamento de Mecânica da Universidade do Minho. A fresadora foi construída em Portugal e designa-se FFI FV-100 possuindo como unidade de controlo uma FANUC 0-M. Esta máquina possui 3 eixos de controlo (X, Y e Z).



Fig. 5.3 - Fresadora FFI FV-100.

A sequência de operações de controlo nesta máquina consiste em :

1. Ligar a energia da máquina (activando o interruptor geral, parte lateral da fresadora).
2. Ligar o controlador (activando o botão ON do painel de controlo).
3. Efectuar a calibração (passando ao modo HOME e movimentando o eixo Z, seguido dos movimentos X e Y, até que os LEDs de HOME correspondentes aos eixos Z, X e Y, se acendam).
4. Efectuar uma sessão de trabalho (modos: EDIT, AUTO, MDI, JOG, HOME).
5. Desligar o controlador (activando o botão OFF do painel de controlo).
6. Desligar a energia da máquina.



Fig. 5.4 - Painel da unidade de controlo da fresadora FFI FV-100.

Descrição sucinta dos modos de operação da fresadora FFI FV-100

Modo EDIT

Este modo permite efectuar a gestão de programas de controlo numérico :

1. Listar os programas presentes na memória do controlador
2. Apagar um programa (tecla DELET)
3. Editar um programa (tecla INSRT e ALTER)
4. Ler um programa pela porta série (tecla INPUT)
5. Enviar um programa pela porta série (tecla OUTPT START)

Modo AUTO

Este modo permite executar programas em modo automático :

1. Seleccionar um programa
2. Visualizar o seu código
3. Executar bloco a bloco ou todo o programa (tecla SINGL BLOCK ou CYCLE START)
4. Parar a execução de um programa (tecla CYCLE STOP)
5. Efectuar uma simulação de execução (tecla DRY RUN)

Modo MDI

Este modo permite a introdução de dados de forma manual :

1. Selecção do modo MDI no botão MODE SELECTOR.
2. Entrada de blocos de comandos de CN a partir do teclado do painel de controlo da máquina.
3. Execução normal do programa ou blocos de comandos.

Modo JOG

Este modo permite o controlo da máquina de forma manual :

1. Passar ao modo JOG seleccionando esta opção no botão MODE SELECTOR.
2. Movimentar os eixos X, Y ou Z, nas direcções pretendidas, através dos

respectivos botões (um botão de cada vez); Especificar velocidades de rotação e de avanço da ferramenta, etc.

Modo HOME

Este modo permite efectuar a calibração da fresadora. Este procedimento é indispensável quando se liga a máquina para esta obter a referência espacial. Para tal tem de se efectuar a sequência :

1. Passar ao modo HOME (botão MODE SELECTOR)
2. Activar a tecla Z^+ , X^+ e Y^+
3. Aguardar que os LEDs de HOME correspondentes aos eixos X, Y, e Z acendam

Esta máquina não possui capacidades DNC. Para implementar estas capacidades é necessário fazer uma actualização de *hardware* (instalação de uma placa na unidade de controlo da máquina) e reprogramar a unidade de controlo. Dado que o valor pedido por esta actualização era bastante elevado optou-se por não fazer a mesma. A reprogramação da unidade de controlo para fazer uso das novas funcionalidades teria igualmente que ser realizada na Universidade do Minho, o que levantou novos problemas, não tendo havido condições para o fazer.. O protótipo construído não reflecte portanto o funcionamento totalmente independente da máquina, uma vez que é necessário comutar entre diversos modos de operação para que se possa executar um programa na máquina.

O procedimento manual para leitura e execução de um programa é :

1. Colocar a máquina em modo de edição de programas: Modo EDIT.
2. Premir a tecla INPUT, para esta ler dados pela porta série.
3. Enviar o programa de CN do PC para a máquina.
4. Colocar a máquina em modo automático: Modo AUTO.
5. Premir a tecla CYCLE START.

5.3 Ambiente de desenvolvimento das aplicações informáticas

O ambiente de desenvolvimento utilizado para construção das aplicações informáticas presentes no PC local (Interface 1) e no PC remoto (Interface 2 e Interface 3), foi o *LabVIEW* 4. O *LabVIEW* é uma aplicação para desenvolvimento de programas, semelhante aos ambientes de desenvolvimento comerciais baseados na linguagem ‘C’ ou ‘BASIC’. Difere, no entanto, destes ambientes num aspecto importante. Estes ambientes de programação utilizam linguagens baseadas em texto para criar linhas de código. O *LabVIEW* usa uma linguagem de programação gráfica, a linguagem ‘G’.

Um programa desenvolvido em *LabVIEW* é designado *Virtual Instrument* (VI) pois a sua aparência e operação assemelha-se a um instrumento real. Os VIs são análogos às funções das linguagens tradicionais.

Os VIs contêm uma interface do utilizador designado por *front panel*. Alguns exemplos de elementos dum *front panel* são: gráficos, botões, caixas de texto e outros controlos e indicadores.

Os VIs recebem instruções do *block diagram*, construído na linguagem ‘G’. O *block diagram* contém o código fonte do VI e fornece uma solução pictórica do problema. Cada elemento do *front panel* possui o seu par no *block diagram*. Os dados de entrada, do interface ao utilizador, são colocados num formato mais apropriado e processados no *block diagram*, os resultados são de seguida apresentados ao utilizador sob um formato apropriado, de fácil leitura e compreensão. Para mais fácil entendimento do *block diagram* tipos de dados diferentes possuem cores e tipos de linhas diferentes.

Os VIs possuem uma estrutura hierárquica e modular podendo ser usados como programas de alto nível ou subprogramas. Um programa incorporado num outro é designado subVI.

O ícone e o *conector pane* de um VI funcionam como uma lista gráfica de parâmetros por forma que outros VIs possam passar dados para ele.

A construção de uma aplicação passa geralmente pela divisão do problema em várias tarefas, que podem ser divididas sucessivamente até que o problema se torne uma série

de sub-tarefas simples. Constroi-se um VI que permite realizar cada uma das tarefas e combinam-se esses VIs num outro *block diagram* para realização da tarefa de nível superior. Finalmente o VI de nível mais elevado contém uma colecção de VIs que representam as funções da aplicação.

Cada subVI pode ser executado de forma independente do resto da aplicação permitindo uma depuração do código fonte mais fácil.

Os subVIs de nível mais baixo realizam frequentemente tarefas comuns a várias aplicações obtendo-se desta forma uma reutilização elevada de VIs.

O *LabVIEW* utiliza a programação *data flow programming*; um nodo é executado quando os dados estão disponíveis em todos os conectores de entrada.

O *LabVIEW* foi escolhido como ambiente de desenvolvimento dado possuir:

- A) Módulos base para construção de aplicações em rede usando o protocolo TCP/IP.
- B) Módulos base para aquisição, representação e análise de dados provenientes de sensores externos.
- C) Elementos para criação de interfaces gráficas amigáveis, baseadas em gráficos, botões, LEDs, ícones e outros elementos gráficos.
- D) A linguagem gráfica utilizada no *LabVIEW* permite construir programas modulares e de fácil compreensão.

O ANEXO I - ***LabVIEW: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench***, contém explicações e alguns exemplos dos principais componentes do *LabVIEW*.

5.4 Funcionalidades implementadas

As funcionalidades escolhidas para construção de um protótipo demonstrativo da teleoperação de uma fresadora de controlo numérico são um subconjunto das funcionalidades encontradas nestas máquinas. Sobretudo são representativas das operações efectuadas pelos operadores quando em acção directa sobre o painel de controlo real da máquina.

5.4.1 Funções de controlo manual de movimentos

1. Movimentação do eixo X
2. Movimentação do eixo Y
3. Movimentação do eixo Z
4. Movimentação dos eixos XYZ
5. Especificação da velocidade de avanço da máquina (Feed rate)
6. Especificação da velocidade de rotação da árvore da máquina (Spindle speed)
7. Activação e paragem da rotação da árvore da máquina (Start e Stop Spindle) e sentido de rotação (CW e ACW).

A geração dos programas de controlo numérico a partir do manuseamento dos botões do painel de virtual remoto é feita automaticamente.

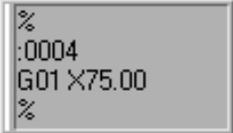
Para implementação das funcionalidades 1 a 4 foram construídas barras de deslocação horizontal que fornecem o posicionamento pretendido para cada eixo da máquina. A geração do comando correspondente para enviar à máquina pode ser construído recorrendo a todas as coordenadas ou a cada coordenada do eixo respectivo.

Por exemplo para movimentação do eixo X deve movimentar-se a barra horizontal correspondente ou especificar o valor absoluto pretendido para a movimentação:



Pressiona-se então o botão :

Após estas acções o programa de controlo numérico correspondente é gerado

automaticamente: , enviado à máquina remota e executado, produzindo o movimento programado do eixo X para a posição X=75.00.

O mesmo processo é executado para cada um dos restantes eixos. Para a execução de um movimento simultâneo nos três eixos só é necessário manipular cada uma das barras

horizontais ou especificar o seu valor e actuar o botão: 

O programa gerado, de acordo com o estado das barras de deslocação horizontal, é então enviado à máquina. A figura 5.5 apresenta a tradução de movimentações das barras de deslocação horizontal em comandos de movimentação na linguagem dos “Gês”:

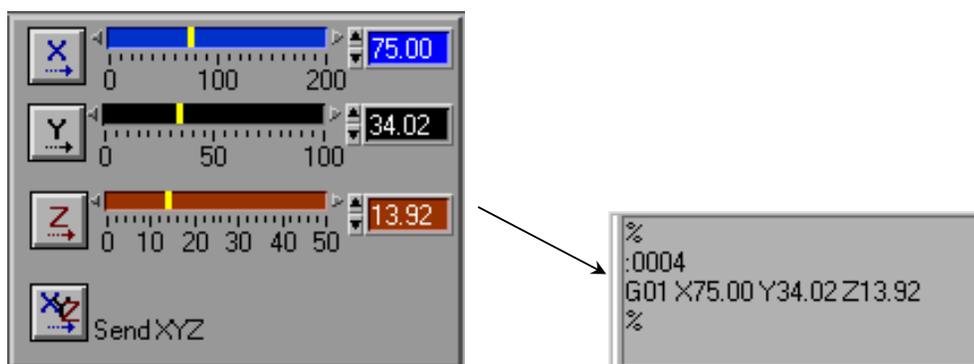


Fig. 5.5 - Tradução das movimentações no painel virtual em comandos CN.

A especificação da velocidade de avanço da máquina e da velocidade de rotação da máquina (funcionalidades 5 e 6) é conseguida através de botões rotativos, à semelhança do que se pode encontrar no painel de controlo real da máquina.

A activação e paragem da rotação da árvore da máquina e o sentido de rotação da mesma, no sentido do ponteiro do relógio ou no sentido inverso (funcionalidades 7), é

conseguida através dos botões : 

5.4.2 Funções de manipulação e execução de programas

1. Visualizar programas de controlo numérico
2. Enviar um Programa de controlo numérico para a máquina
3. Executar um programa de controlo numérico

A visualização de programas de controlo numérico a enviar à máquina é feita em dois pequenos ecrãs. O primeiro serve para visualizar programas completos existentes no disco do computador remoto. O segundo para visualizar programas de controlo numérico gerados pela interacção do operador remoto sobre os botões do painel virtual remoto da máquina.

Quando se envia um destes programas para a fresadora (do Interface 3 para o Interface 1), o computador remoto envia pela Internet o programa, o computador local recebe e remete-o (através da interface série) de imediato para a máquina para que seja executado.

A construção e edição de programas de controlo numérico não é abordada, assumindo-se que os programas existentes em disco estão correctos. A sua visualização no painel virtual remoto serve apenas para confirmar que o programa a enviar é de facto o programa que se seleccionou.

5.5 Comunicações via TCP/IP

Após o início de uma sessão remota de operação de uma determinada máquina estabelecem-se duas conexões entre o sala de controlo e a sala de operação efectiva. A primeira das conexões foi implementada sobre o protocolo TCP/IP usando o modelo Cliente/Servidor de comunicações entre computadores e pretende fechar a malha de controlo ao nível da tarefa. A aplicação Cliente envia os comandos (programas de CN) para a aplicação Servidor que por sua vez os reenvia para a máquina. A aplicação Servidor, adquire alguns sinais sensoriais da máquina e envia-os para a aplicação Cliente que os disponibiliza de forma agradável para o operador remoto. A segunda, funciona igualmente sobre TCP/IP (LAN/WAN), consiste num sistema de videoconferência e implementa a aquisição de vídeo e som do ambiente local à máquina. Esta segunda conexão será abordada especificamente no capítulo 5.8 - Sistema vídeo e audio.

A aplicação cliente está localizada num ponto remoto à fresadora FFI FV-100 FANUC 0-M. Esta aplicação possui um painel virtual da fresadora pois é a partir deste painel virtual que o operador vai enviar programas de CN para a fresadora e receber dados dos sensores, figura 5.6 :

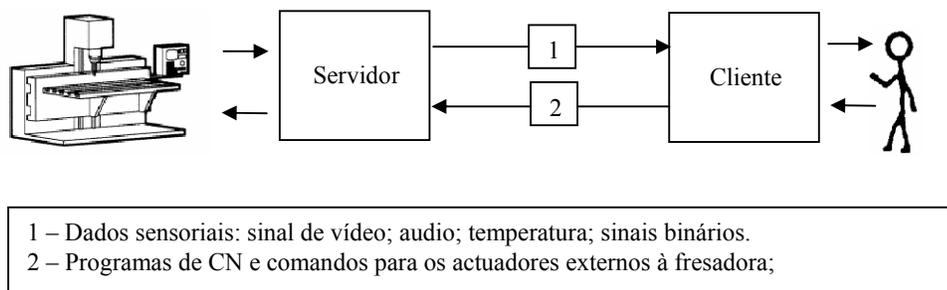


Fig. 5.6 – Aplicação Cliente/Servidor.

A aplicação Servidor está instalada no PC local à fresadora possuindo uma ligação série à unidade de controlo FANUC 0-M. Esta aplicação espera que uma aplicação Cliente peça uma conexão. Quando isso acontece estabelece-se uma sessão de trabalho onde o Servidor fornece continuamente informação de estado provenientes dos diversos

sensores externos à fresadora. Simultaneamente quando recebe um programa de CN via TCP/IP envia-o para a fresadora via porta série.

Fica ao cuidado do utilizador remoto zelar sobre o estado da máquina para que não envie programas de CN para a fresadora sem que esta tenha completado a execução do anterior ou pelo envio de comandos para a mesma incompatíveis com o seu estado actual. Os sensores externos (vídeo, audio, sensores binários e analógicos externos) permitem-lhe avaliar à distância o estado da máquina de forma que lhe permita tomar decisões quanto à viabilidade de execução de operações posteriores sobre a fresadora.

O instrumento virtual cliente responsável pelo pedido de uma conexão para envio de dados designa-se **FM-TCP-IP (Cliente).VI**, figura 5.7. É este VI que procede à transferência de dados entre a instalação remota de controlo e a instalação física do equipamento. Neste VI o programa de CN, identificado por *STRING*, é enviado à porta 2055 do computador cujo endereço internet é 193.137.14.8. Logicamente que este endereço identifica o servidor.

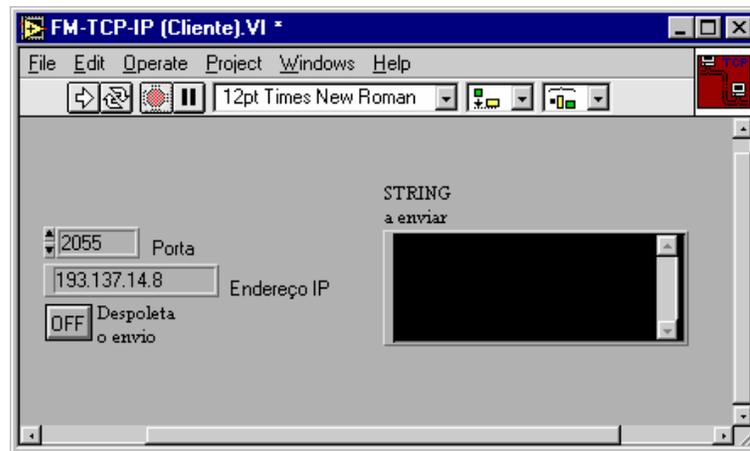


Fig. 5.7 - O *Front Panel* do Instrumento Virtual **FM-TCP-IP (Cliente).VI**.

O respectivo diagrama de blocos é apresentado na figura 5.8:

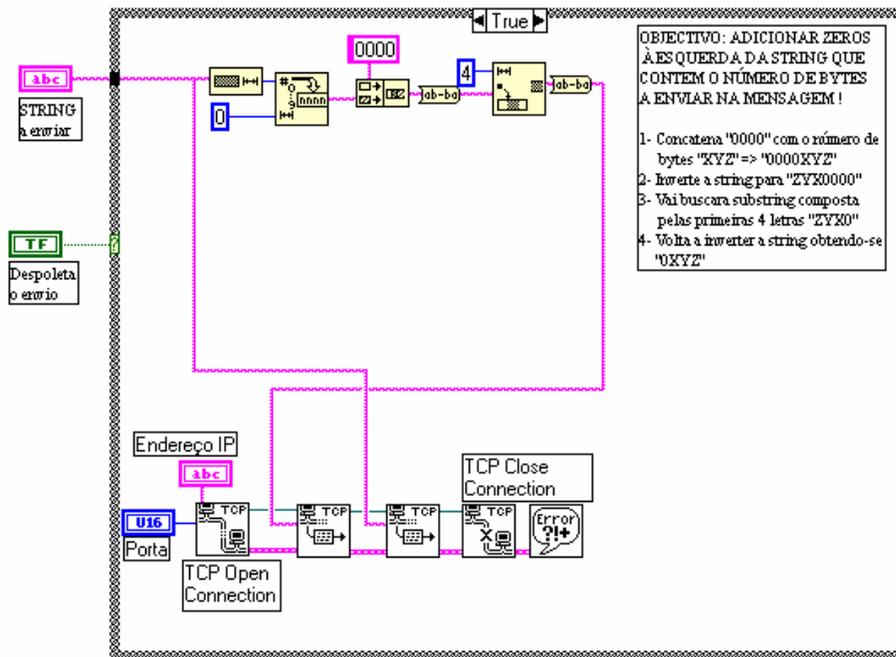


Fig. 5.8 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual FM-TCP-IP (Cliente).VI.

Este VI é activado quando o utilizador actua um botão de envio do programa de CN no painel virtual da fresadora. O programa consiste numa *string*. Inicialmente é efectuada uma contagem do número de caracteres presentes na mensagem a enviar. Sempre que se envia um programa de CN enviam-se duas mensagens para o servidor :

Mensagem 1 – Contém o tamanho da mensagem 2, ou seja, o tamanho do programa de CN a enviar. Possui um tamanho fixo de 4 caracteres, o que possibilita o envio de programas CN até 9999 caracteres, ou seja aproximadamente 10 Kbytes. Programas de CN típicos são geralmente muito inferiores a 10 Kbytes.

Mensagem 2 – Contém o programa de CN em si. O tamanho desta mensagem é variável. As mensagens mais pequenas correspondem a comandos isolados do operador, quando em operações de controlo manual, como por exemplo activar a rotação da ferramenta ou movimentar a ferramenta para um ponto espacial. As mensagens maiores correspondem a programas de CN completos armazenados na biblioteca de programas do disco do PC remoto.

Este procedimento de enviar duas mensagens, sendo que só a segunda possui informação útil, é necessário para informar o servidor do tamanho da mensagem 2.

Logicamente que a mensagem 1 possui tamanho fixo para que, do outro lado, o servidor esteja à espera que lhe enviem um número de caracteres previamente definido.

Este VI começa por pedir uma conexão de rede ao servidor (no endereço IP e porta de ligação especificados), se for aceite envia a mensagem 1 (que contém o tamanho da mensagem 2) seguida da mensagem 2 (que contém o programa de CN), após o que encerra a conexão.

Este VI é executado sempre que o operador remoto actua um botão de envio de comandos ou programa de CN para a fresadora.

Do outro lado, na instalação física do equipamento, o instrumento virtual servidor aguarda conexões de VIs clientes para estabelecimento de conexões e subsequente transferência de dados. Quando um Cliente requer uma ligação ao Servidor e este a aceita estabelece-se a conexão. O Servidor lê a primeira mensagem (com 4 bytes de tamanho), lê a segunda mensagem (com tamanho dado pela primeira mensagem), envia a segunda mensagem pela porta série e termina a conexão. O Servidor fica então à “escuta” de novos pedidos de conexões. Como se poderá observar na figura 5.9 :

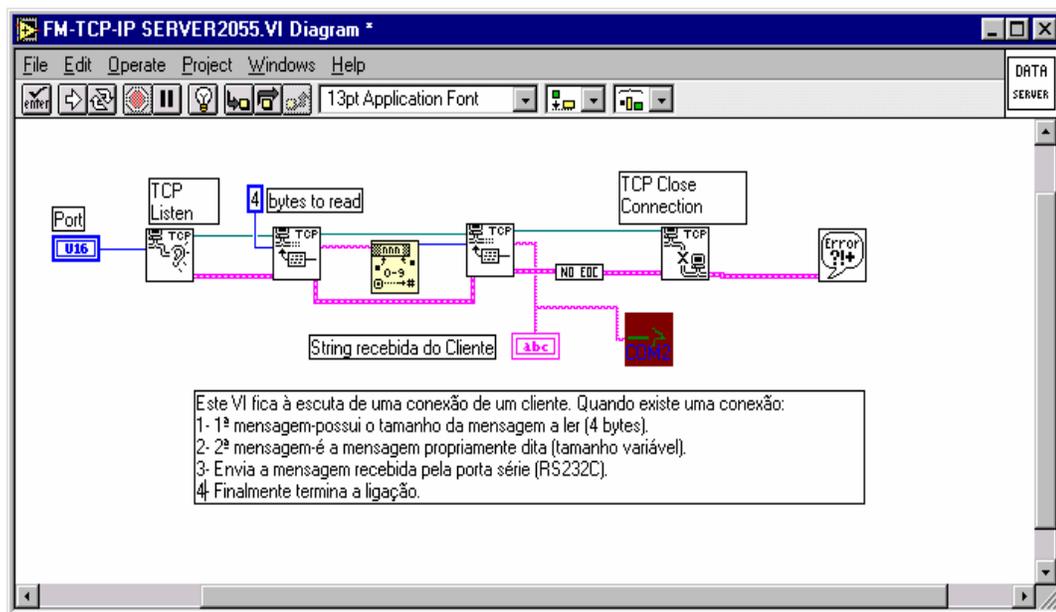


Fig. 5.9 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual FM-TCP-IP SERVER2055.VI.

5.6 Interface Homem-Máquina via Painel Virtual Remoto

O Painel Virtual remoto implementa o Interface 3, ou seja, o interface final ao operador remoto. É sobre este painel que o operador vai realizar as suas actividades de controlo à distância e igualmente de monitorização de alguns dados sensoriais externos à máquina.

A figura 5.10 apresenta o painel virtual remoto, desenvolvido em *LabVIEW*, para a fresadora FFI FV-100 FANUC 0-M :

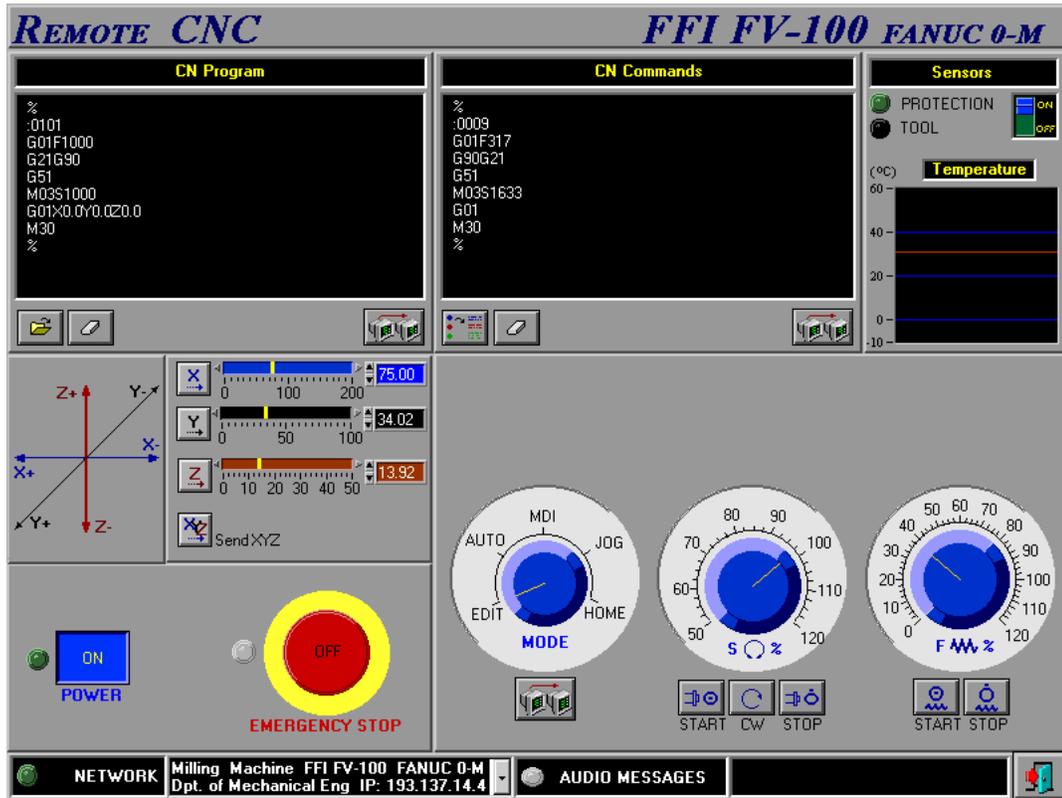


Fig. 5.10 - Painel Virtual da fresadora FFI FV-100 FANUC 0-M.

O ANEXO II - *Front Panel* e *Block Diagram* do VI *RemoteCNC-Client.VI* apresenta a aplicação cliente, que implementa o Interface 3.

Procedimento de operação

Para iniciar uma sessão de trabalho remota o operador começa por activar o botão :

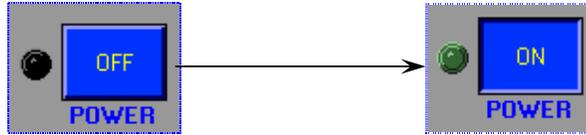
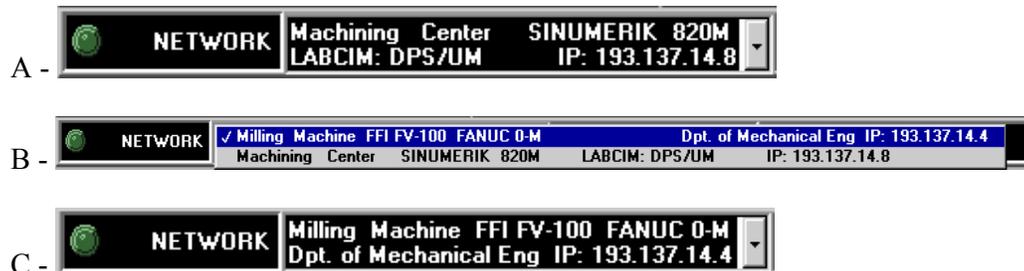


Fig. 5.11 - Estabelecimento de uma sessão de trabalho sobre o painel virtual remoto.

Quando se activa este botão o VI Cliente efectua uma conexão ao VI servidor. O VI servidor é apresentado no ANEXO III - *Front Panel* e *Block Diagram* do VI *RemoteCNC-Server.VI*. Se a conexão for aceite inicia-se uma sessão de trabalho. Se o botão POWER não for activado as operações que se efectuam sobre o painel virtual não tem qualquer consequência para a fresadora, isto é, estamos a mexer em botões (virtuais) de uma máquina que para todos os efeitos está desligada.

A conexão é realizada sobre a máquina que se seleccionar na barra inferior do painel virtual :



- A - Máquina actual.
- B - Selecção da fresadora FFI FV-100, a partir de uma lista de máquinas.
- C - Estabelecimento de uma ligação de rede à máquina seleccionada.

Fig. 5.12 - Selecção de uma máquina para estabelecimento de uma sessão de trabalho.

O écran do canto superior direito permite visualizar o conteúdo de programas de CN existentes na biblioteca de programas CN do PC remoto.

Para visualizar um programa de CN o operador remoto efectua um *click* sobre o botão , abre-se então uma caixa de diálogo que permite seleccionar um determinado programa:

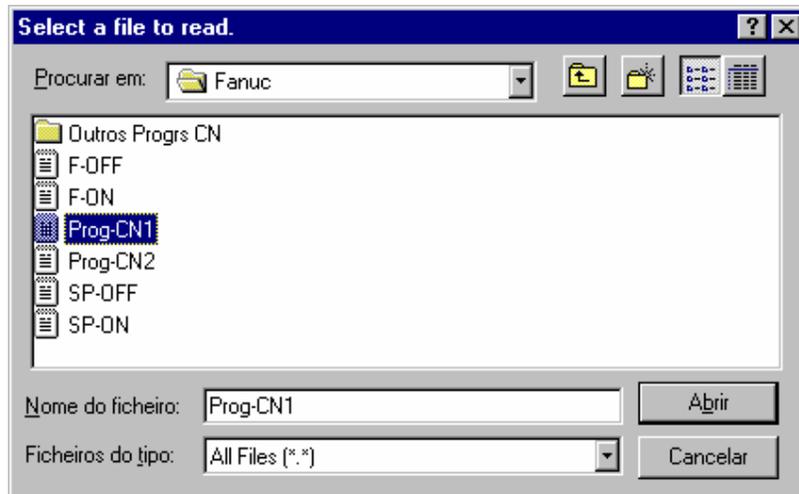


Fig. 5.13 - Selecção de um programa de CN da biblioteca de programas.

O programa aparece então no écran **CN Program** :

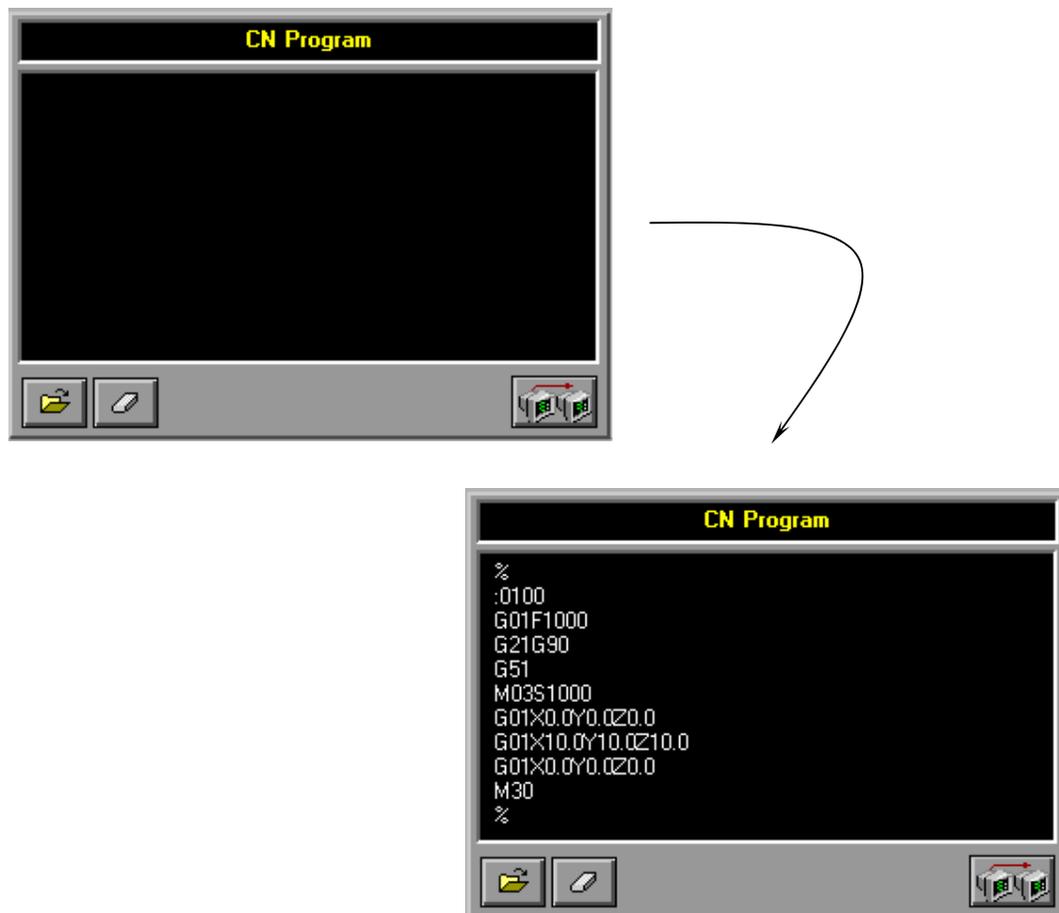


Fig. 5.14 - Visualização de um programa de CN em disco.

Para apagar o conteúdo do écran efectua-se um *click* no botão , e para enviá-lo para a fresadora basta actuar o botão .

Ao manusear os botões virtuais do painel de controlo remoto são gerados comandos de CN que são canalizados para o segundo écran - **CN Commands** :



Fig. 5.15 - Geração de um programa de CN a partir dos botões do painel virtual remoto.

Para apagar o conteúdo do écran efectua-se um *click* no botão . Para repor os comandos de CN correspondentes ao estado dos botões do painel de virtual activa-se o botão . Para enviá-lo para a fresadora actua-se o botão , à semelhança dos procedimentos para os programas de CN em disco.

Para movimentar directamente os eixos da máquina posiciona-se a “régua” horizontal correspondente ao eixo a movimentar no valor pretendido ou especifica-se explicitamente o valor absoluto pretendido para a movimentação e de seguida efectua-se um *click* no botão correspondente a esse eixo. O programa de CN correspondente a esse movimento é então gerado e enviado para a máquina que por sua vez o executa. caso se pretenda um movimento simultâneo de todos os eixos então posicionam-se todas as “réguas” horizontais no valor pretendido ou fornecem-se as coordenadas de cada eixo e pressiona-se o botão XYZ :

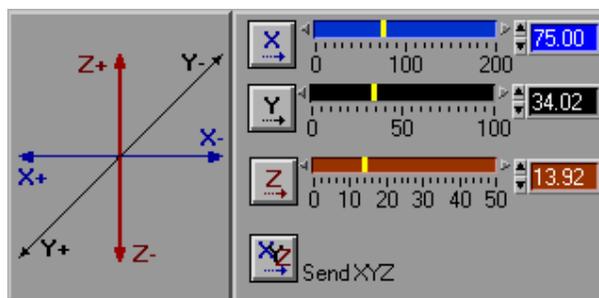


Fig. 5.16 - Movimentação directa de um ou vários eixos da máquina.

Para especificação, activação, desactivação e indicação do sentido de rotação da árvore da máquina manipulam-se os botões :

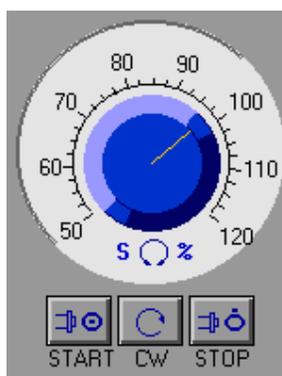


Fig. 5.17 - Velocidade de rotação da árvore.

Para especificação, activação e desactivação da velocidade de avanço da máquina usam-se os botões :

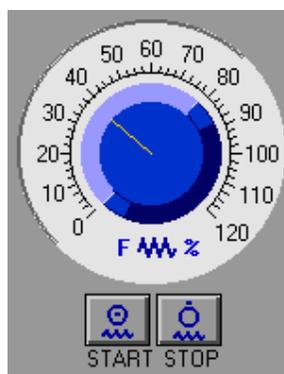


Fig. 5.18 - Velocidade de avanço.



A sessão de trabalho é terminada quando se desliga o botão POWER:



ou quando se abandona o programa efectuando um *click* no botão: do painel virtual remoto.

A hierarquia dos módulos que constituem as aplicações cliente e servidor apresenta-se no ANEXO IV - Hierarquia dos VIs *RemoteCNC-Client.VI* e *RemoteCNC-Server.VI*.

5.7 Aquisição de dados sensoriais

Para aquisição de dados sensoriais foi utilizada uma placa DAQ; a AT-MIO-16E-10 da *National Instruments*. Esta placa é compatível com a especificação *Plug-and-Play* ISA. Isto significa que não é necessário configurar manualmente *switches* e *jumpers*. O que inclui a especificação automática do endereço base da placa, os canais de acesso directo a memória (DMA) e os canais de interrupção (IRQs). Possui entradas e saídas analógicas, entradas e saídas digitais e ainda operações de temporização.

a) Entradas analógicas

Possui um conversor analógico-digital de aproximações sucessivas com uma resolução de 12 bits (1 em 4096). A taxa máxima de aquisição dos dados é de 100KS/s. As transferências de dados podem ser por DMA, interrupção ou I/O programado.

Esta placa possui três modos de entradas :

Entradas normais não-referenciadas (NonReferenced Single-Ended, NRSE)

Este modo usa uma linha de entrada analógica, conectando-se à entrada positiva do amplificador (de ganho programável) da placa - *Programmable Gain Instrumentation Amplifier* (PGIA). A entrada negativa do PGIA é conectada à entrada AISENSE (*Analog Input SENSE*). Neste modo podemos utilizar 16 canais.

Entradas normais referenciadas (Referenced Single-Ended, RSE)

Este modo usa uma linha de entrada analógica, conectando-se à entrada positiva do amplificador da placa - PGIA. A entrada negativa do PGIA é conectada internamente à entrada AIGND (*Analog Input Ground*). Neste modo podemos utilizar 16 canais.

Entradas em modo diferencial (Differential, DIFF)

Este modo usa duas linhas de entradas analógicas. Uma das linhas liga à entrada positiva do amplificador (de ganho programável) da placa - *Programmable Gain Instrumentation Amplifier* (PGIA). A outra linha liga à entrada negativa do PGIA. Este modo possui portanto apenas 8 canais.

A tabela que se segue apresenta o intervalo efectivo para ganhos concretos e a respectiva precisão de medição.

Tabela 5.1: Configuração da placa DAQ AT-MIO-16E-10 para aquisição de sinais.

Intervalo	Ganho	Intervalo de entrada efectivo	Precisão¹¹
0 a +10 Volt	1,0	0 a +10 Volt	2,44 mVolt
	2,0	0 a +5 Volt	1,22 mVolt
	5,0	0 a +2 Volt	488,28 µVolt
	10,0	0 a +1 Volt	244,14 µVolt
	20,0	0 a +500 mVolt	122,07 µVolt
	50,0	0 a +200 mVolt	48,83 µVolt
	100,0	0 a +100 mVolt	24,41 µVolt
-5 a +5 Volt	0,5	-10 a +10 Volt	4,88 mVolt
	1,0	-5 a +5 Volt	2,44 mVolt
	2,0	-2.5 a +2.5 Volt	1,22 mVolt
	5,0	-1 a +1 Volt	488,28 µVolt
	10,0	-500 a +500 mVolt	244,14 µVolt
	20,0	-250 a +250 mVolt	122,07 µVolt
	50,0	-100 a +100 mVolt	48,83 µVolt
	100,0	-50 a +50 mVolt	24,41 µVolt

¹¹ - valor do bit menos significativo do conversor analógico digital de 12 bits; ou seja, o incremento de voltagem correspondente à alteração de um bit no conversor analógico digital de 12 bits.

b) Saídas analógicas :

A placa ATMIO-16E-10 possui dois canais de saída analógica. O conversor digital-analógico (*Digital to Analog Converter - DAC*) pode ser configurado para saída em modo unipolar (0 a Vref) ou bipolar (-Vref a +Vref).

c) Entradas e saídas digitais :

A placa ATMIO-16E-10 possui oito linhas de entradas/saídas digitais de uso geral. É possível configurar individualmente cada linha para entrada ou saída.

O diagrama de blocos desta placa é apresentado na figura 5.19 :

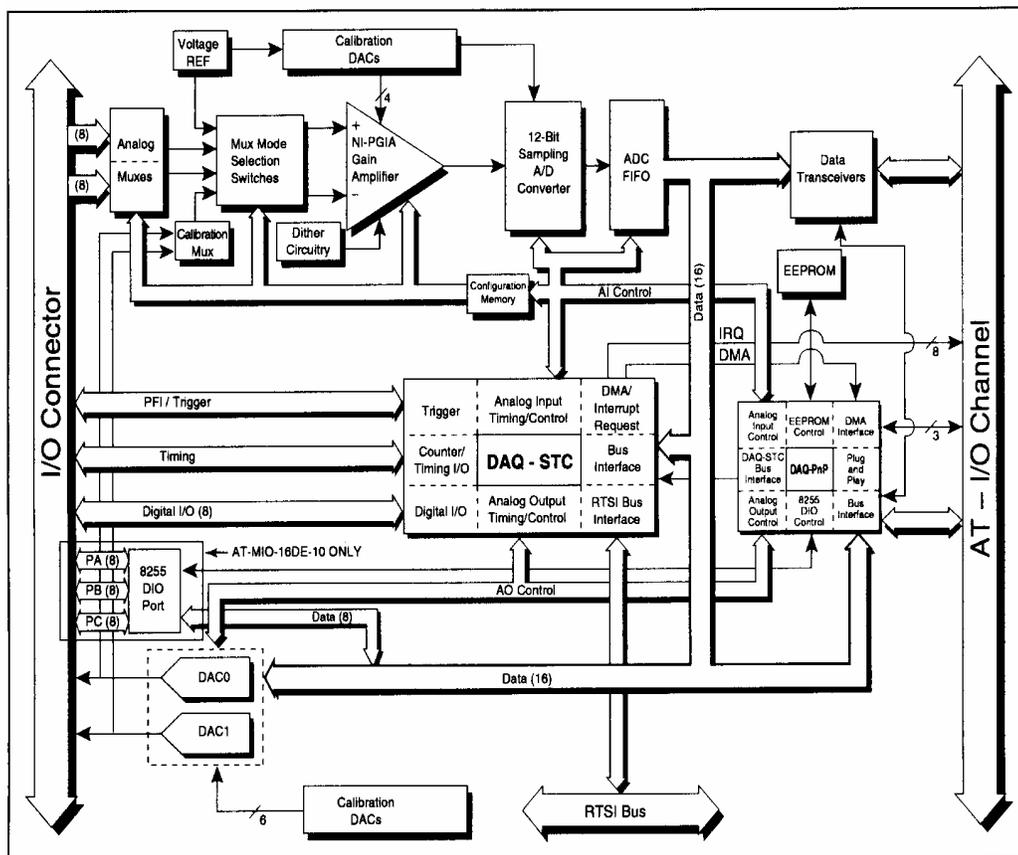


Fig. 5.19 - Diagrama de blocos da placa AT-MIO-16E-10.

As aplicações de alto nível realizam o interface ao *hardware* através programas que se designam por *drivers*. Na aplicação concreta foi utilizado o ambiente de desenvolvimento *LabVIEW 4.01*, os *drivers NI-DAQ 4.9.0*, a placa de aquisição de dados *AT-MIO-16E-10* e um computador pessoal com *Windows95* :

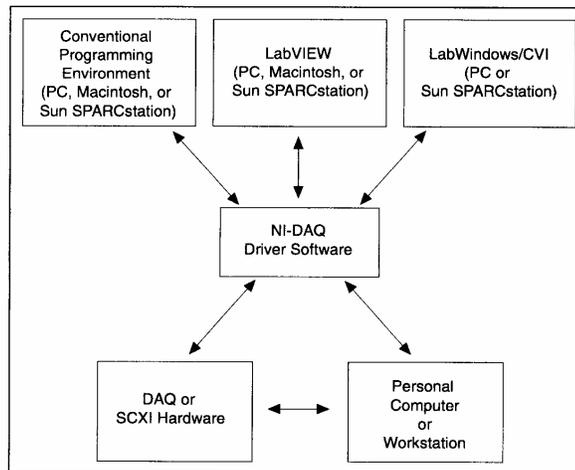


Fig. 5.20 - Relações entre o ambiente de programação, os *drivers* NI-DAQ, e o *Hardware*.

A placa de aquisição de dados está instalada como dispositivo 1 e ocupa o IRQ 10 do PC local :

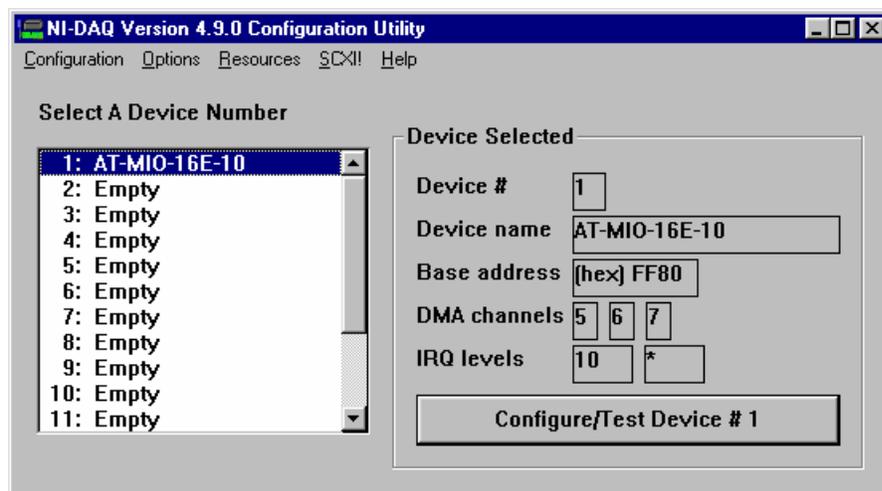


Fig. 5.21 - Configurações base da placa DAQ AT-MIO-16E-10.

As entradas analógicas estão configuradas para o modo de ligação referenciada (RSE), e funcionam no intervalo 0 Volt a +10 Volt :

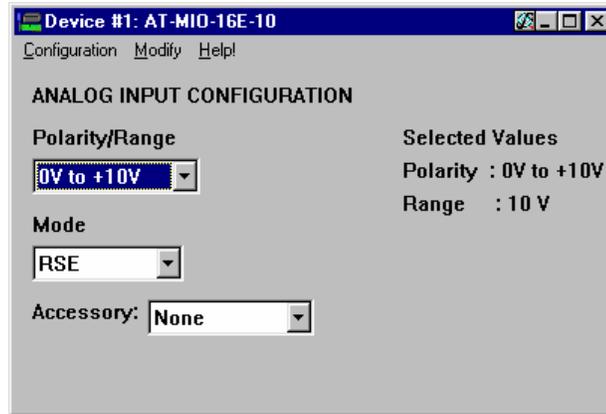


Fig. 5.22 - Configuração das entradas analógicas.

As saídas analógicas estão configuradas para funcionarem entre -10 e +10 Volt :

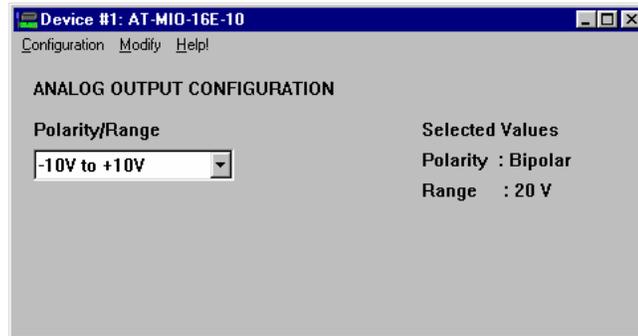


Fig. 5.23 - Configuração das saídas analógicas.

Os dois sensores binários instalados, sensores OMRON fotoelétricos a funcionar na gama de infravermelhos, modelo E3SA-DS50C43A, fornecem informação de estado do dispositivo de guarda da fresadora (aberto/fechado) e de presença/ausência de ferramenta no porta-ferramentas. As duas linhas de entrada são monitorizadas continuamente e o seu estado enviado para o computador remoto onde o operador monitoriza o respectivo estado. O seu estado é apresentado sob a forma de LEDs. Quando vermelhos, os LEDs indicam que o dispositivo de guarda está aberto e que não está instalada qualquer ferramenta na fresadora, se verdes, os mesmos LEDs indicam que o dispositivo de guarda está fechado e que está instalada uma ferramenta,

máquina ou da zona de corte quando em maquinagem.

Este sensor está igualmente ligado à placa de aquisição de dados mas, ao contrário dos sensores binários, fornece uma gama de estados, de valores contínuos, num intervalo definido. O sensor escolhido, LM335, opera numa gama de temperaturas entre -40 °C e +100 °C. Este sensor foi conectado ao canal de entradas analógica zero (ACH0).

O seu valor é continuamente monitorizado através do envio da temperatura para a aplicação Cliente. A informação sobre a temperatura da fresadora é fornecida ao operador remoto sob a forma de um gráfico.

O VI seguinte, figura 5.26, apresenta a monitorização da temperatura a uma cadência de cinco leituras por segundo :

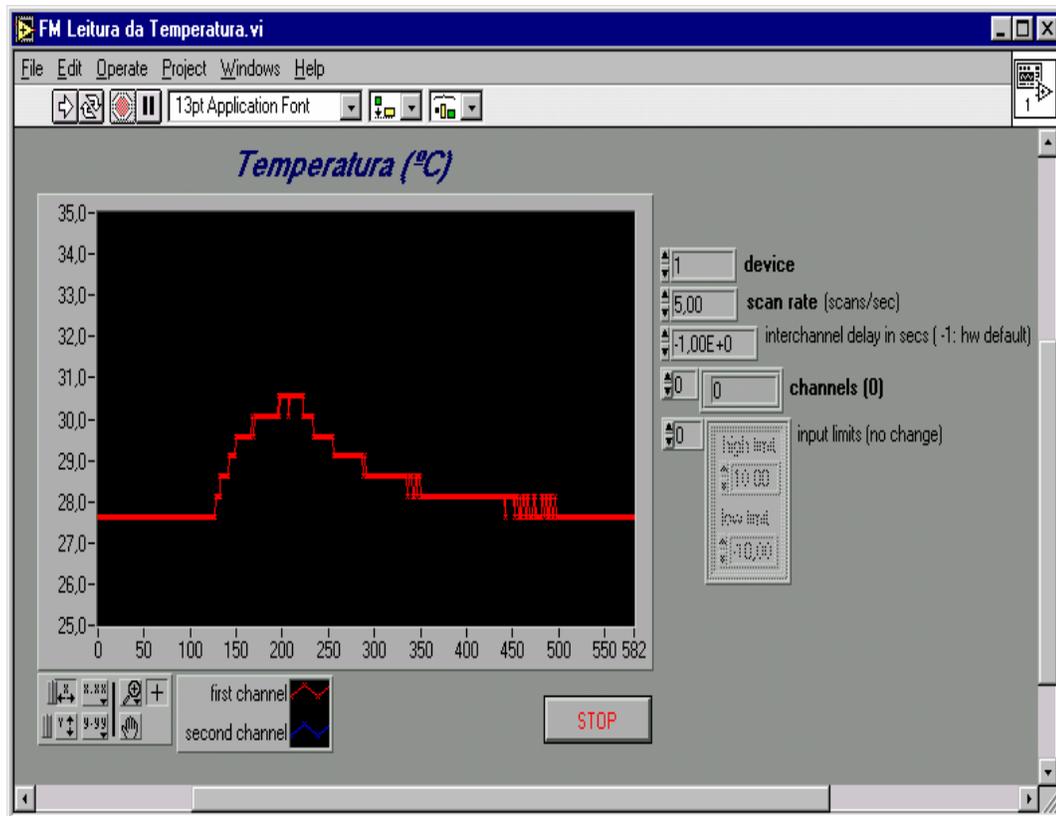


Fig. 5.26 - O Front Panel do Instrumento Virtual FM-Leitura da Temperatura.VI.

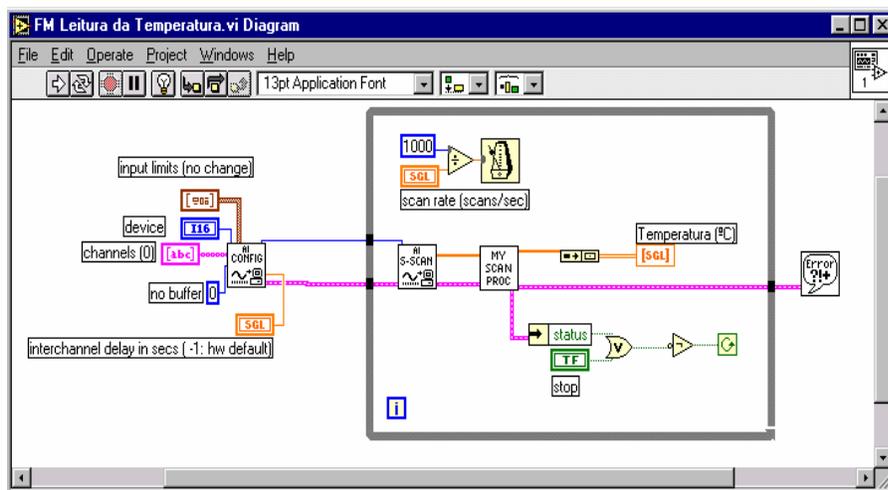


Fig. 5.27 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual **FM-Leitura da Temperatura.VI**.

O processamento do valor adquirido (em Volts) e respectiva conversão em temperatura em graus centígrados [$T(^{\circ}\text{C})=T(\text{Volts}) \times 100 - 273,15$] está a cabo do VI :

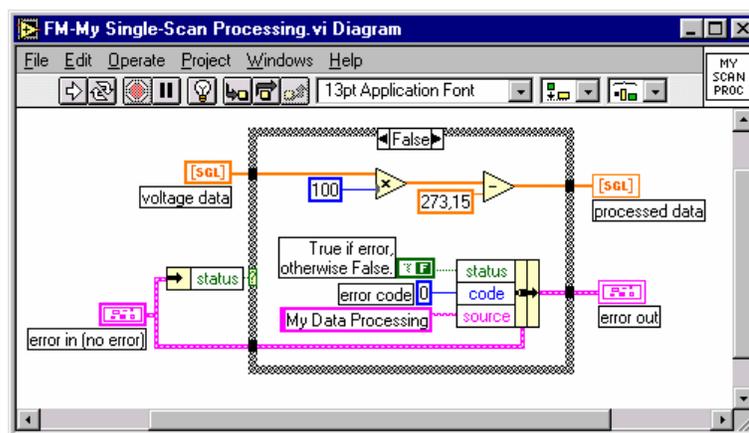


Fig. 5.28 - O Diagrama de Blocos do Instrumento Virtual **FM-My Single-Scan Processing.VI**.

Os dois sensores binários de estado e o sensor analógico de temperatura visam apenas demonstrar a possibilidade de transferência de informação sensorial externa à fresadora e à unidade de controlo. Foi ainda instalado um sinal sonoro, para casos de emergência, que foi conectado à saída digital 2 (DIO2).

No ANEXO V- Aquisição de dados sensoriais, apresentam-se os diversos módulos do sistema sensorial.

5.8 Sistema Vídeo e Audio

A transmissão de vídeo e audio em tempo real entre a sala de operações e a sala de controlo foi implementada através de um sistema de videoconferência. O *kit* de videoconferência adquirido, o *ProShare Business Video Conferencing System 200*, da Intel, funciona sobre conexões RDIS ou sobre redes TCP/IP permitindo a transferência on-line de vídeo, som e dados.

Este sistema de videoconferência está conforme as normas industriais do *International Telecommunications Union* (ITU) organismo responsável pelos *standards* de telecomunicações :

ITU H.320 - videoconferência sobre RDIS (vídeo e audio)

ITU H.323 - videoconferência sobre LANs (vídeo e audio)

T.120 – videoconferência (dados)

Codecs Audio :	• G.711	Codecs Video :	• H.261	FCIF,
	• G.723		• H.263	FCIF,
	• G.728		• H.263	QCIF

Actualmente, para além do ITU, existem outros grupos activamente empenhados no desenvolvimento de standards de conferência. O IETF, *Internet Engineering Task Force*, está a desenvolver standards como o RTP, *Real-time Transport Protocol*, e o RSVP, *Resource Reservation Protocol*, utilizados para conferência sobre LAN/WANs e na Internet.

O sistema de videoconferência suporta o protocolo TCP/IP, com formatos de endereço de 4 bytes separados por pontos (exemplo: 193.136.14.8) ou endereços de domínio internet (exemplo: fmoreira.eng.uminho.pt), e funciona de origem a 32 bits, o que garante intrinsecamente a compatibilidade com o *Microsoft Windows 95*. Possui suporte para ligação de duas câmaras (dual vídeo input) sendo a selecção por *software*.

Os requisitos do sistema computacional para instalação do *Kit* de videoconferência são:

- Processador Pentium da Intel, a operar a 133 Mhz ou mais. É recomendado um processador Pentium com tecnologia MMX com cache L2 com 256Kbytes ou mais.
- 32 Mb de memória RAM
- 70 Mb de espaço livre em disco (instalação completa)
- Um slot ISA livre para instalação da placa ISDN
- Um *slot* PCI livre para instalação da placa de captura de vídeo.
- Um *drive* de CDROM
- Para comunicações sobre RDIS é necessário uma linha RDIS.
- Para comunicações sobre redes de computadores é necessário uma placa de rede.

Foram adquiridos dois *kits* de videoconferência. Um deles foi instalado no ambiente local da fresadora (sala de operação) e o outro no local remoto (sala de controlo). O primeiro é responsável por fornecer o ambiente sonoro e percepção visual do funcionamento da fresadora. A informação visual revela-se importante para a percepção do estado da máquina e em situações de resolução de situações anómalas. A informação audio é importante para detecção de anomalias nos processos de maquinagem ou de regimes de maquinagem menos apropriados. O segundo *kit* foi instalado junto do operador remoto, na sala de controlo e disponibiliza um canal comunicação vídeo e de audio para comunicação homem-homem caso a situação exija a intervenção humana na sala de operação. O operador local é avisado para a necessidade de estabelecer comunicação (com vista à resolução da situação) com o operador remoto através de um aviso sonoro accionado à distância pelo operador remoto.

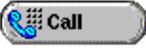
O sistema de videoconferência, instalado junto da fresadora, é activado automaticamente quando se liga o computador após o que aguarda conexões. O operador remoto estabelece então uma chamada , escolhendo de entre uma lista de possíveis pontos de acesso, a ligação pretendida. Esta ligação identifica inequivocamente o computador que está instalado junto da fresadora :



Fig. 5.29 - Estabelecimento de uma ligação de videoconferência :
Operador remoto ↔ Fresadora FFI FV-100.

A ligação é estabelecida automaticamente perante o pedido do operador remoto permitindo a transferência de vídeo, sons e dados em ambos os sentidos :



Fig. 5.30 - Ligação de videoconferência estabelecida.

O operador remoto passa então a receber imagens e som produzido pela fresadora o que lhe permite monitorizar o funcionamento da máquina e determinar as acções a realizar.

Quando pretender terminar a sessão de trabalho o operador remoto desliga a conexão efectuando um *click* no botão  , o procedimento de encerramento é então executado :



Fig. 5.31 - Encerramento de uma ligação de videoconferência.

Este programa permite a construção de listas de pontos de acesso para estabelecimento de ligações, o que permite automatizar a procura e procedimento de ligação efectiva :

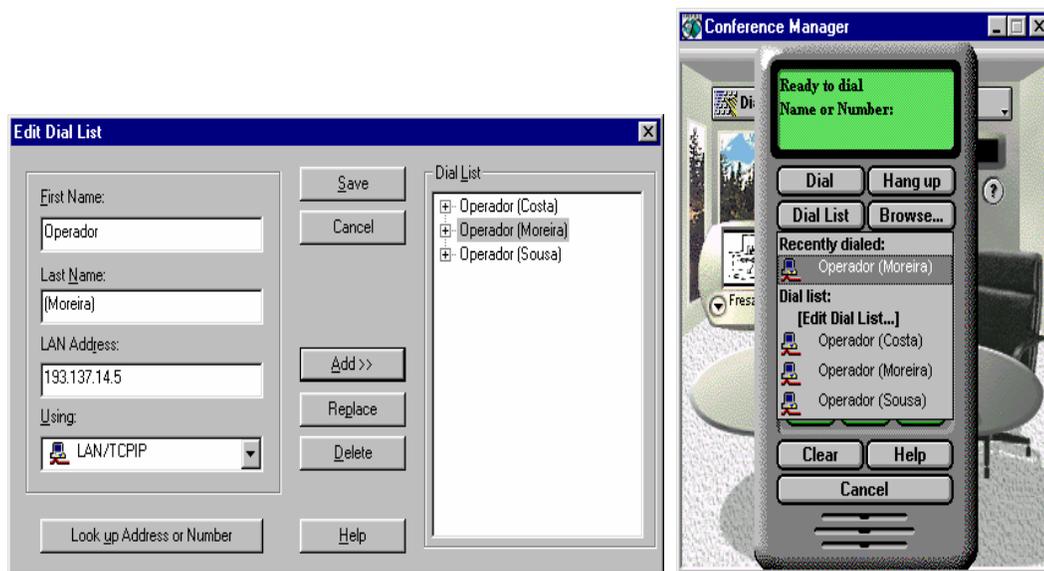


Fig. 5.32 - Lista de operadores remotos.

Após o estabelecimento da ligação o operador remoto recebe informação visual e

auditiva do que está a acontecer no ambiente real da máquina. Esta informação é essencial para que ele possa exercer com coerência as suas actividades de monitorização, e de operação:



Fig. 5.33 - Sessão de trabalho com transmissão video e audio em tempo real.

A figura 5.36 apresenta uma sessão de operação e sensorização remota :



Fig. 5.34 - Operador remoto durante uma sessão de trabalho.

5.9 Interface Fresadora-Computador local

A transferência de informação entre a fresadora e o computador local foi implementada através de uma ligação RS232-C. Esta ligação série está actualmente a funcionar a 4800 *baud*, com paridade par, 7 bits de dados e 1 stop bit. É possível alterar estas configurações alterando o parâmetro 552 da Fresadora e adequando as características de transmissão do PC às características de recepção da máquina ou vice-versa. O PC possui um interface DB25 macho (COM 2) e a fresadora um interface DB25 fêmea.

Foi construído um cabo série que conecta o PC local à fresadora, cujo esquema de ligações é indicado a seguir :

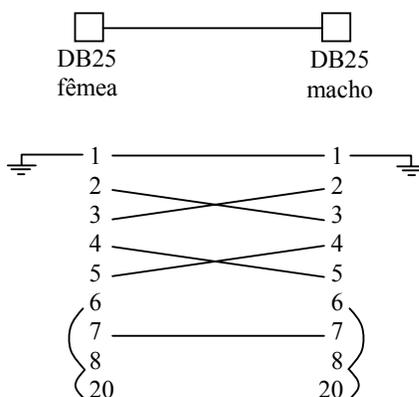


Fig. 5.35 - Esquema de ligações do cabo série PC-Fresadora.

O VI responsável pelas transferências de dados do PC local para a fresadora é um subVI do VI servidor. A porta série é inicializada, por este subVI, através dos parâmetros relevantes e de seguida envia-se a informação. No momento do despoletar do envio dos dados a fresadora deverá estar no modo de edição de programas e à espera que lhe cheguem dados pela porta série. O VI Servidor retransmite imediatamente todos os programas de CN que recebe do VI Cliente. Isto significa que o operador remoto deverá ter o cuidado de verificar se o estado actual da máquina permite o envio de qualquer comando ou programa de CN, uma vez que assim que pressionar um botão de envio de um comando ou programa de CN o seu envio é de facto imediato. Por exemplo, quando o operador activa o botão de enviar o programa de CN actual, este é

de imediato enviado, via Internet ao PC local, este por sua vez envia-o pela RS232-C para a fresadora sem qualquer interferência adicional de equipamentos de controlo ou de operadores. O tempo que decorre entre o *click* do rato no painel virtual remoto, a transferência dos dados do VI remoto para o VI local e deste para a memória da unidade de controlo da fresadora é praticamente instantânea.

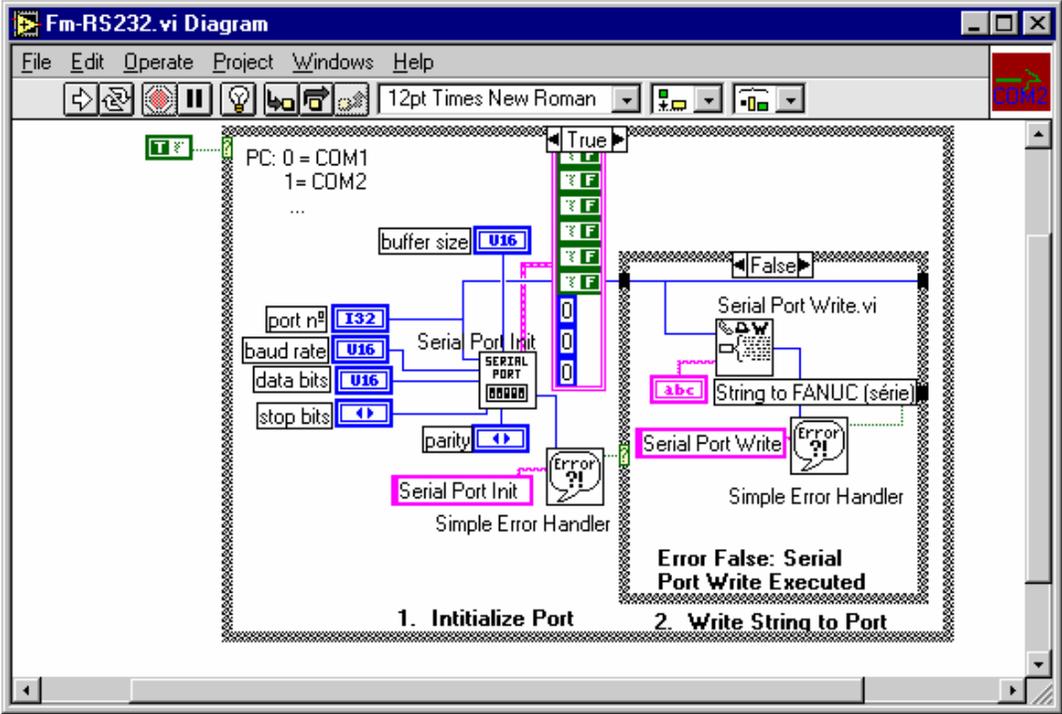


Fig. 5.36 - Block Diagram do VI responsável pelas comunicações série com a fresadora.

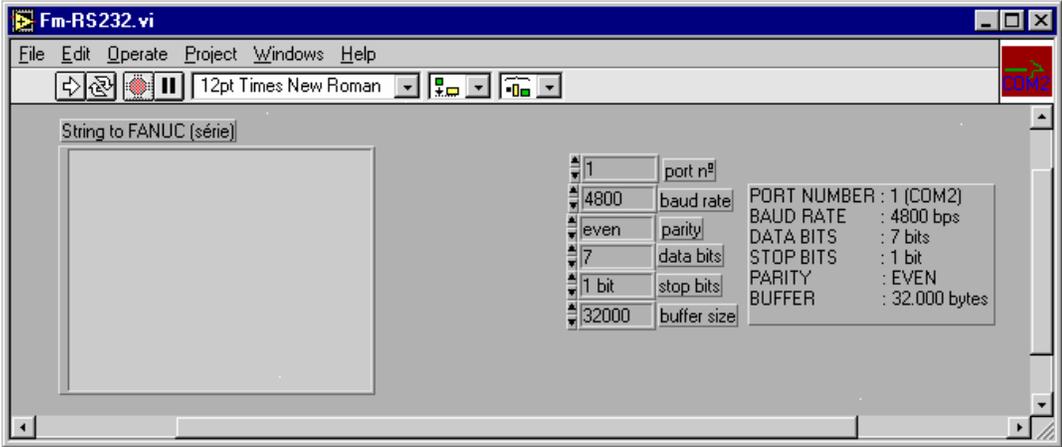


Fig. 5.37 - Front Panel do VI responsável pelas comunicações série com a fresadora. Em resumo, a aplicação servidora, responsável pela realização física do interface 1,

aguarda pedidos de ligações de aplicações clientes. Por seu lado a aplicação cliente, responsável pelos interfaces 2 e 3, faz pedidos de estabelecimento de uma ligação à aplicação servidora, e por consequência uma sessão de operação da fresadora de CN, a pedido do operador remoto. Após o estabelecimento da ligação a aplicação cliente traduz os comandos que o operador efectua sobre o painel remoto (interface 3) em instruções de controlo numérico, constroi programas de CN completos a partir dessas instruções e envia-os através da internet para a aplicação servidora (interface 2). A aplicação servidora recebe então os programas de CN e envia-os através da porta série para a fresadora, para que sejam executados. A aplicação servidora adquire igualmente sinais provenientes dos diversos sensores, externos à fresadora, e remete-os à sala de controlo onde se encontra o operador remoto.

A informação vídeo e audio é transmitida através de um sistema independente de videoconferência, que envolve igualmente duas aplicações, uma instalada na sala de operações e outra na sala de controlo. O operador remoto recebe portanto informação visual e auditiva do ambiente local à fresadora. Está igualmente disponível um canal vídeo e audio do operador remoto para a sala de operações para, por exemplo, na eventualidade de ocorrência de alguma anomalia que exija a intervenção humana junto da máquina, se possa comunicar com um operador local.

Capítulo 6

VALIDAÇÃO DA INSTALAÇÃO PROTÓTIPO

A validação da instalação protótipo, de demonstração de operação e controlo de máquinas industriais à distância, é abordada neste capítulo e baseia-se sobretudo em análises de teor qualitativo.

Os componentes a validar são:

1. Painel virtual remoto de controlo da máquina.
2. Comunicações entre a sala de operações e a sala de controlo.
3. Comunicações entre o computador local e a fresadora de controlo numérico.
4. Independência geográfica na instalação do sistema.
5. Aquisição remota de dados sensoriais.
6. Generalização de aplicação a outros equipamentos industriais.

O teste das funcionalidades dos componentes desenvolvidos, nomeadamente elementos electrónicos e aplicações informáticas, constituíram a parte principal de validação da instalação protótipo.

Outros componentes do processo de validação, nomeadamente quantificação dos desempenhos dos componentes particulares e da instalação considerada como um todo, foram considerados e observados, mas não foram organizadas experiências rigorosas e sistemáticas, considerando que os recursos e o plano de projecto não o permitiram.

De seguida apresentam-se alguns comentários aos elementos testados.

1. Painel virtual remoto de controlo da máquina

O interface ao operador remoto é realizado através de um painel virtual remoto. Este interface remoto possui similaridades óbvias relativamente ao interface Homem-Máquina local. Praticamente todos os botões possuem a mesma aparência visual, a mesma disposição no painel de controlo virtual e são operados de forma similar. Embora sejam agora operados através de um *click* do rato em oposição a um toque de dedo ou de rotação de um botão físico. Este painel virtual é muito parecido com o painel original da máquina. As funcionalidades dos botões virtuais são similares aos botões físicos, porém escondem a conversão para comandos, gerados pela activação dos botões no monitor do PC remoto. Escondem igualmente as comunicações requeridas para enviar esses comandos do PC remoto para a fresadora.



Fig. 6.1 - Painel Virtual remoto *versus* Painel Real da fresadora FFI FV-100 FANUC 0-M.

O painel de controlo virtual apresenta portanto características comuns ao painel de controlo real da máquina, pelo que não é difícil entender o seu modo de operação e as suas funcionalidades. É no entanto importante compreender que se está de facto num espaço geográfico distinto do espaço físico da máquina, e que, por consequência, são necessárias funcionalidades adicionais que não se encontram no painel real da máquina e que permitem ultrapassar a barreira da distância física.

2. Comunicações entre a sala de operações e a sala de controlo

A instalação protótipo foi construída sobre a rede de comunicação da universidade do Minho (TCP/IP). O meio físico de transmissão é partilhado por diversos utilizadores o que implica que o tempo de transmissão na rede depende do número de utilizadores a usar a rede em cada instante. Depende igualmente do tipo de aplicações em utilização simultânea. Por exemplo, não é aconselhado existirem várias sessões de videoconferência simultâneas numa rede local pois a quantidade de informação (sequências de imagens e de som em tempo real) a ser trocada é muito grande, o que introduzirá tempos de espera incompatíveis com as cadências normais de diálogo entre pessoas.

Não é possível, portanto, garantir o atraso máximo de transmissão entre a estação de controlo e a sala de operações. No entanto, nas diversas experiências levadas a cabo com o sistema de videoconferência e com a aplicação Cliente/Servidor criada, o atraso de transmissão, entre a sala de operações e a sala de controlo não foi superior a 1 segundo.

3. Comunicações entre o computador local e a fresadora de controlo numérico

As comunicações entre o computador local e a fresadora são asseguradas por uma ligação RS-232C. É através desta ligação que fluem os programas de controlo numérico da aplicação cliente para a aplicação servidora e desta para a memória da unidade de controlo da máquina. As comunicações só se efectuam num sentido; do computador local para a fresadora, uma vez que esta máquina não está preparada para enviar para o exterior informação interna de estado e de dados existentes na sua memória (programas de controlo numérico, parâmetros de sistema, etc.) de forma automática.

4. Independência geográfica na instalação do sistema

A instalação protótipo funciona sobre TCP/IP, o protocolo de redes de comunicações por computador mais generalizado do mundo. A globalidade de aplicação é por isso a mais abrangente e efectiva no momento actual.

Desde que se possuam os equipamentos e serviços básicos de rede, o que actualmente é oferecido na globalidade dos computadores pessoais actuais, é possível construir sistemas de teleoperação aplicados a pontos geográficos muito distantes.

O acesso a meios físicos de transmissão de informação a uma escala global está também disponível de uma forma geral nos países mais desenvolvidos, e a uma escala menor nos países em desenvolvimento e mesmo em algumas regiões de países subdesenvolvidos.

5. Aquisição remota de dados sensoriais

Não foi objectivo desta instalação protótipo demonstrar quais os elementos sensoriais a ser adoptados ou requeridos em teleoperação, mas sim a demonstração da validade da monitorização dos dados que fornecem. A escolha do tipo e quantidade de sensores a adoptar numa instalação final de teleoperação depende em muito do tipo de máquina que se pretende controlar, do ambiente em que está inserida, bem como da natureza das operações a realizar e dos elementos auxiliares ao processo.

A aquisição dos sinais de vídeo e audio é realizada através de uma câmara de vídeo, microfone e respectiva placa de aquisição de vídeo e audio, que foram instaladas quer no ambiente remoto quer no ambiente local à fresadora. Obteve-se uma qualidade razoável, em termos de resolução e actualização de imagens no écran, durante horas mortas de utilização da rede. Os horários nocturnos e fins de semana forneceram os melhores resultados em termos de atraso de transmissão já que é nestes horários que se verifica uma menor utilização da rede. O desempenho deste sistema não satisfaz, sobretudo durante o horário de expediente. A qualidade das imagens baixava devido à necessidade de partilha do mesmo meio físico de transmissão por um número muito

maior de utilizadores e solicitações de serviços de rede. A adopção de *kits* de videoconferência com melhores algoritmos de compactação e máquinas mais velozes, poderá melhorar a qualidade final deste tipo de informação (bastante exigente em termos de desempenho) perante o mesmo meio físico de transmissão. De notar que em ambientes industriais a utilização de redes com melhores características (exemplo: linhas RDIS ou redes dedicadas) aumenta muito o custo de operação do sistema.

A aquisição de dados provenientes dos restantes sensores foi mais pacífica já que não eram requeridas grandes taxas de transmissão de informação na rede. A placa de aquisição de dados era igualmente mais que suficiente em termos de disponibilidade para ligações de sensores e de taxa de aquisição dos dados. De referir que esta placa adquire dados a uma taxa de cem mil amostras por segundo, muito acima do que era requerido nesta instalação dado termos apenas um sensor analógico, dois binários, um actuador, e termos utilizado uma taxa de aquisição de aproximadamente uma amostra por segundo.

6. Generalização de aplicação a outros equipamentos industriais

A generalização da aplicação a equipamentos industriais com base em controlo numérico é praticamente imediata pois actualmente estes equipamentos já são concebidos para poderem realizar interfaces com os computadores, os quais são a base para a construção de sistemas de teleoperação. Equipamentos mais antigos de controlo numérico podem ser teleoperados mas é necessário adquirir algum hardware e construir algumas funções adicionais na unidade de controlo do equipamento. É necessário construir uma interface específica aos diferentes tipos de máquinas dado que possuem funcionalidades diferentes e realizam operações distintas.

A aplicação a sistemas robotizados é já um facto, havendo actualmente inúmeras instalações a funcionar. Porém ainda não é vulgar ver-se instalações deste género em ambientes industriais.

Capítulo 7

CONCLUSÕES

7.1 Considerações finais

Em termos de conclusões podemos referir que é possível construir sistemas de teleoperação para equipamento industrial baseados em tecnologias de informação e redes digitais actuais, desde que se possuam equipamentos industriais preparadas para o controlo à distância. Este requisito está actualmente a ser implementado pelos maiores fabricantes mundiais de unidades de controlo para máquinas-ferramentas e robots, que vêm cada vez mais a abertura dos seus sistemas¹² como uma vantagem competitiva. A operação e controlo de equipamentos não preparados para serem teleoperados é igualmente possível, mas com elevadas penalidades temporais, dado ser complexo alterar o modo de funcionamento de sistemas proprietários, e com custos monetários elevados, já que é geralmente necessário instalar novo hardware e reprogramar a unidade de controlo para contemplar as novas funcionalidades de teleoperação.

Os requisitos temporais, devido à necessidade de comunicações em ambos os sentidos, da sala de controlo para a sala de operações e vice-versa, não se revelaram muito exigentes já que o controlo do equipamento é realizado ao nível da tarefa, o que

em termos da malha de controlo se traduz em requisitos temporais muito inferiores aos tempos necessários para controlo de cada actuador da máquina e execução dos algoritmos de interpolação dos movimentos dos eixos. Ou seja, o controlo ao nível da tarefa é temporalmente muito menos exigente que o controlo dos níveis mais baixos da malha de controlo.

Porém é requerido algum cuidado nos atrasos temporais de comunicações entre a sala de operações e a sala de controlo ao nível sensorial, dado que algum tipo de informação, como a informação vídeo e audio, requer meios de transmissão de capacidades significativas. A qualidade de transmissão dessa informação depende igualmente da sua taxa de actualização. Num futuro próximo este problema não parece ter uma expressão dramática dado que os débitos de comunicações têm aumentado muito nos últimos anos, suportados por novas tecnologias físicas de transporte de capacidades muito elevadas que têm sido adoptadas pelas empresas de suporte básico de transmissão e por instituições individuais. Os algoritmos de compressão de dados, por exemplo de vídeo e audio, têm verificado melhorias igualmente importantes, lavando a que por um mesmo canal de transmissão se debite realmente muito mais informação do que a que seria admissível.

O presente projecto teve como objectivo o estabelecimento de uma plataforma base de demonstração e desenvolvimento de aplicação da teleoperação a equipamentos industriais. Este objectivo foi conseguido, mas a amplitude da sua demonstração experimental foi reduzida perante algumas limitações do equipamento industrial disponível para implementação da instalação protótipo.

Este projecto vem no seguimento do desenvolvimento de conceitos actuais de formas de realização de trabalho e de constituição de sistemas produtivos avançados, de que são exemplos o teletrabalho, Sistemas de Produção Distribuídos, Sistemas de Produção Virtuais e One-Product-Integrated-Manufacturing. Estes conceitos foram abordados nos primeiros capítulos da presente publicação e forneceram a envolvente e motivações para realização deste projecto.

As tecnologias de informação, bem como os recentes desenvolvimentos nas redes de

¹² - *Open Systems*.

computadores, da Internet e algoritmos de compactação de sinais vídeo e audio em tempo real, as recentes investigações no desenvolvimento de ambientes virtuais e a construção de unidades de controlo de máquinas-ferramentas baseadas em computadores e sistemas abertos, empurram-nos para novos paradigmas de constituição e operação de sistemas produtivos, convidando-nos a estabelecer um ambiente mesclado de tecnologias e introdução de conceitos de sistemas integrados.

7.2 Trabalho futuro

Para a implementação real de sistemas de teleoperação em ambientes industriais é necessário efectuar um planeamento de processos de teleoperação extremamente rigoroso, algo que não foi levado a cabo neste projecto. Para aplicação destes sistemas de teleoperação a ambientes industriais reais é necessário detalhar e formalizar todas as funcionalidades requeridas, para obtenção de resultados mais fiáveis e consistentes.

Reveste-se de importância crucial a implementação de equipamentos auxiliares, igualmente operados à distância, ou de funcionamento unicamente mecânico, complementar ao controlo e monitorização do equipamento principal. Quero dizer com isto que alimentadores automáticos de matéria prima, fixadores com centragem automática e precisa, alimentadores automáticos de ferramentas, e outros dispositivos, desempenham um papel primordial em sistemas de teleoperação. Estes sistemas são o que se poderia designar de sistemas flexíveis de manufactura distribuídos.

Um outro aspecto muito importante advém da possibilidade de ocorrência de situações de avaria e mau funcionamento do equipamento produtivo, do equipamento de controlo, e ainda dos meios físicos de comunicação entre a sala de operações e a sala de controlo. Este aspecto não foi abordado neste projecto e reveste-se de grande importância, nomeadamente na sua aplicabilidade a projectos industriais.

Finalmente, dado que a natureza do controlo e operação de equipamentos que localmente não estão presentes, e da necessidade de construção de interfaces e sistemas sensoriais que emulam a presença física do operador no ambiente da máquina, através da criação de um espaço virtual, é necessário proceder à formação dos operadores remotos e elaborar planos de procedimentos para as diversas situações que se possam

verificar.

Os sistemas de teleoperação são certamente menos fiáveis, que os sistemas normais, dado que possuem um maior número de elementos electrónicos, mecânicos e informáticos. Permitem, no entanto, a construção de sistemas produtivos avançados que irão alterar a forma como se geram os produtos no meio industrial. Estes novos sistemas produtivos são hoje em dia alvo de investigação nas universidades e serão implementados industrialmente num futuro próximo, alterando a forma como as pessoas realizam trabalho.

Os tópicos seguintes serão objecto de projectos futuros:

1. Validação rigorosa, em termos funcionais (validação qualitativa) e de desempenho (validação quantitativa) das componentes do sistema e subsequente optimização.
2. Formas organizacionais de investigação que integrem a teleoperação de equipamento industrial.
3. Modelos formais do sistema e desenvolvimento de algoritmos de projecto para implementações específicas.
4. Avaliação económica de sistemas de teleoperação de equipamentos industriais.

REFERÊNCIAS

- [BARBERA et al. 79] BARBERA, A.J., ALBUS, J.S., FITZGERALD, M.L., “Hierarchical Control of Robots using Microcomputers”, 9th Industrial Symposium on Industrial Robots, 1979.
- [BLATTER and DANNENBERG 92] BLATTER, Meera M., DANNENBERG, Roger B., “Multimedia Interface Design”, ACM Press, 1992.
- [CONWAY et al. 90] CONWAY, Lynn, VOLZ, Richard A. and WALKER, Michael W., “Teleautonomous Systems: Projecting and Coordinating Intelligent Action at a Distance”, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 6, No. 2, pp. 146-158, 1990.
- [CROSSMAN et al. 74], CROSSMAN, E.R.F.W., COOKE, J.E., BEISHON, R.J., “Visual Attention and the Sampling of Displayed Information in Process Control”, Reprinted in Edwards, E. and Lees, F.P. (eds.), The Human Operator in Process Control, Taylor and Francis, 1974.
- [DIX 94] DIX, Alan, “The Human Interface”, Assembly Automation, Vol. 14 no. 3, pp. 9-13, MCM University Press, 1994.
- [FERREL and SHERIDAN 67] FERREL, W.R., SHERIDAN, T.B., “Supervisory Control of Remote Manipulation”, IEEE Spectrum 4, nº 10, October, pp. 81-88, 1967.
- [FIRMEZA and RAMOS 97] FIRMEZA, J., RAMOS, F., “Designing an Internet based Teleproductics System”, Re-engineering for Sustainable Industrial Production, IFIP, pp. 325-342, Chapman & Hall, Lisbon, 1997.
- [GRAY et al. 93] GRAY, Mike, HODSON, Noel, GORDON, Gil, “Teleworking Explained”, John Wiley & Sons, 1993.
- [HEINRICHS et al. 93] HEINRICHS, Bernd, MEUSER, Thomas, SPANIOL, Otto, “High Speed Interconnection of Workstations: Concepts, Problems and Experiences”, Decentralized

and Distributed Systems, Elsevier Science B.V., IFIP, pp. 3-22, 1993.

[JANOWSKI and ACEBEDO 96] JANOWSKI, T., ACEBEDO, C. M., "Virtual Enterprise: On Refinement Towards an ODP Architecture", Pre-Proceedings of the workshop: Theoretical Problems on Manufacturing Systems Design and Control, associated to 2nd IEEE/ECLA/IFIP International Conference on Balanced Automation Systems, pp. 31-43, Portugal, 1996.

[JOHNSEN and MAGEE 70] JOHNSEN, E.G., MAGEE, C.B., "Advancements in Teleoperator Systems", NASA SP-5081, Washington, DC: NASA Office of Technology Utilisation, 1970.

[JOHNSON 94] JOHNSON, Gary W., "LabVIEW-Graphical Programming, Practical Applications in Instrumentation", McGraw-Hill, 1994.

[KÁDÁR et al. 98] KÁDÁR, B., MONOSTORI, L., SZELKE, E., "An object-oriented framework for developing distributed manufacturing architectures", Journal of Intelligent Manufacturing, pp. 173-179, 1998.

[KAO and LIN 96] KAO, Y., LIN, G., "CAD/CAM collaboration and remote machining", Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 9, N° 3, pp. 149-160, Elsevier Science, 1996.

[KIM 90] KIM, Steven H., "Designing Intelligence - *A Framework for Smart Systems*", Oxford University Press, 1990.

[KOCHLAR 97] KOCHLAR, A., "A Framework for Assessing the Agility of Manufacturing Enterprises", 22nd International Conference on Computers and Industrial Engineering, pp. 32-35, Cairo, 1997.

[KOREN 83] KOREN, Yoram, "Computer Control of Manufacturing Systems", McGraw-Hill, 1983.

[LALANDE 92] LALANDE, Michael, "Communication of Engineering data in a Global Environment", AUTOFACT'92, SME, pp. 28.1 - 28.8, 1992.

[LEUNG et al. 95a] LEUNG, Ruth F., LEUNG, Horris C., HILL, John F., "Multimedia/Hypermedia in CIM: state-of-the-art review and research implications (Part I: State-of-the-art review)", Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 8, No. 4, pp. 255-260,

Elsevier Science, 1995.

[LEUNG et al. 95b] LEUNG, Ruth F., LEUNG, Horris C., HILL, John F., “Multimedia/Hypermedia in CIM: state-of-the-art review and research implications (Part II: Research Implications)”, Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 8, No. 4, pp. 261-268, Elsevier Science, 1995.

[MITSUISHI et al. 92] MITSUISHI, Mamoru, NAGAO, Takaaki, HATAMURA, Yotaro, KRAMER, Bruce and WARISAWA, Shin'ichi, “A Manufacturing System for the Global Age”, Human Aspects in Computer Integrated Manufacturing, pp. 841-852, Elsevier Science, 1992.

[MOREIRA et al. 98] MOREIRA, Francisco, PUTNIK, Goran, SOUSA, Rui, “Man-Machine Interface for Remote Programming and Control of NC Machine Tools at the Task Level: An Example”, Mechatronics'98, Sweden, 1998. (Accepted to be published).

[NI 96a] NI, “LabVIEW User Manual”, National Instruments Corporation, 1996.

[NI 96b] NI, “LabVIEW Communications VI Reference Manual”, National Instruments Corporation, 1996.

[NI 96c] NI, “LabVIEW Data Acquisition VI Reference Manual”, National Instruments Corporation, 1996.

[NI 96d] NI, “AT-MIO/AI E Series User Manual”, National Instruments Corporation, 1996.

[PARUNAK 94] PARUNAK, H., “The Virtual Enterprise Concept”, Workshop on Virtual Enterprise, NIST Advanced Technology Program and National Centre for Manufacturing Science, Ann Arbor, Michigan, 1994.

[PUTNIK et al. 98] PUTNIK, G.D., SOUSA, R.M., MOREIRA, J.F., CARVALHO, J.D., SPASIC, Z., BABIC, B., “Distributed/Virtual Manufacturing Cell: An Experimental Installation”, 4th International Seminar on Intelligent Manufacturing Systems, Belgrade, 1998. (Accepted to be published).

[PUTNIK 98a] PUTNIK, G.D., “Distributed and Virtual Manufacturing Systems: An Analysis”, 1998. (To be published).

[PUTNIK 98b] PUTNIK, G.D., “Towards OPIM System – Part I : Manufacturing SME Organisation for the Future”, 1998. (To be published).

- [PUTNIK 97] PUTNIK, Goran, "Towards OPIM System", 22nd International Conference on Computers and Industrial Engineering, pp. 675-678, Cairo, 1997.
- [PUTNIK and SILVA 95] PUTNIK, Goran, SILVA, Sílvio, "One Product Integrated Manufacturing", Balanced Automation Systems-Architectures and Design methods, IFIP, pp. 45-52, Chapman & Hall, Lisbon, 1995.
- [PUTNIK et al. 96] PUTNIK, Goran, GUIMARÃES, Paulo, SILVA, Sílvio, "Virtual Enterprise/OPIM Concepts: An Institutionalisation Framework", Balanced Automation Systems II-Implementation challenges for anthropocentric manufacturing, IFIP, pp. 391-400, Chapman & Hall, Lisbon, 1996.
- [SHERIDAN 92] SHERIDAN, T.B., "Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control", MIT Press, 1992.
- [SOUSA et al. 98] SOUSA, Rui, PUTNIK, Goran, MOREIRA, Francisco, "Using Formal Description Technique Estelle for Manufacturing Systems Specification or Description", 4th International Seminar on Intelligent Manufacturing Systems, Belgrade, 1998. (Accepted to be published).
- [STAFFEND 92] STAFFEND, Gilbert, "Making the Virtual Factory a Reality", AUTOFACT'92, SME, pp. 15.9 - 15.16, 1992.
- [TELEPAC 97] TELEPAC, "Teletrabalho-Especial", Telepac n° 34, pp. 15-26, 1997.
- [THIMBLEBY 90] THIMBLEBY, Harold, "User Interface Design", ACM Press, 1990.
- [WU et al. 94] WU, M.H., ZHOU, Z.D., HEALEY, R., "Development of a Local Networking for Robot Training", Industrial Robot, Vol. 21, No. 3, pp. 29-32, MCB University Press, 1994.
- [WWW-ATA 97] <http://www.atmeda.org/whattel/index.html> "What is Telemedicine?", American Telemedicine Association (ATA), Telemedicine Report To Congress, January 31, 1997.
- [WWW-ECTF 96] <http://www.telework-forum.org/uk/public/articles/diplomen.htm> "European Charta for Telework", ECTF-European Community Telework/Telematics Forum and European Commission DGXIII, 1996.
- [WWW-GETS 95] <http://www.gets.cadmus.fr/> "GETS-Global Emergency Telemedicine

Service”, G7 Global Healthcare Applications sub-project 4 with the support of the European Commission, 1995.

[WWW-IMG 97] <http://img.arc.nasa.gov/Dante/dante.html> “Dante II Frame Walking Robot“, Intelligent Mechanisms Group (IMG) and National Aeronautics Space Administration, 1997.

[WWW-JPL 97a] <http://mpfwww.jpl.nasa.gov/default1.html> “Mars Pathfinder Mission-Home page” Jet Propulsion Laboratory (JPL), California Institute of Technology and National Aeronautics Space Administration, 1997.

[WWW-JPL 97b] <http://mpfwww.jpl.nasa.gov/rovercom/rovintrt.html> “Introduction to the Mars Microrover”, Jet Propulsion Laboratory (JPL), California Institute of Technology and National Aeronautics Space Administration, 1997.

[WWW-JPL 97c] <http://robotics.jpl.nasa.gov/tasks/rovertch/science/homepage.html> “Rover Science Data Acquisition”, Jet Propulsion Laboratory (JPL), California Institute of Technology and National Aeronautics Space Administration, 1997.

[WWW-JPL 98] <http://robotics.jpl.nasa.gov/groups/rv/homepage.html> “Robotic Vehicles Group”, Jet Propulsion Laboratory (JPL), California Institute of Technology and National Aeronautics Space Administration, 1998.

[WWW-NASA 98a] http://ranier.oact.hq.nasa.gov/telerobotics_page/telerobotics.shtm “NASA Space Telerobotics Program”, NASA, 1998.

[WWW-NASA 98b] <http://img.arc.nasa.gov/TROV/trov.html> “Telepresence Remotely Operated Vehicle (TROV)”, NASA/National Science Foundation (NSF) "Antarctic Space Analog Program", 1998.

ANEXOS

ANEXO I

LabVIEW: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

LabVIEW: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

O *LabVIEW* é um programa da National Instruments para desenvolvimento de aplicações informáticas. A primeira versão comercial deste programa, o *LabVIEW 1*, data de Outubro de 1986. Os inventores do *LabVIEW* foram Jack MacCrisken, Jeff Kodosky e Jim Truchard.

As áreas mais relevantes de aplicação do *LabVIEW* são a instrumentação, aquisição de dados, controlo e análise de dados.

A construção das aplicações é efectuada através de uma linguagem de programação própria e de âmbito geral designada Linguagem 'G'. Esta linguagem de programação é inteiramente gráfica, possui um compilador e depurador de código e ainda um gerador de aplicações independentes¹³ do *LabVIEW*, mediante a aquisição de um pacote adicional, adquirido especificamente para esse fim.

Os *Virtual Instruments* (VIs) são as aplicações desenvolvidas em *LabVIEW*, designadas desta forma já que a sua aparência e operação são muito parecidas com os painéis de controlo de instrumentos reais, como multímetros, geradores de sinais, etc.

O *LabVIEW* possui uma biblioteca de VIs que implementam uma série de funções e realizam o interface aos equipamentos de instrumentação mais vulgares no mercado. Fornece igualmente VIs para comunicação em rede usando os protocolos mais vulgarizados, como o protocolo TCP/IP.

Os VIs dividem-se em duas componentes:

1. *Front Panel*

Componente que contém o interface do utilizador, que inclui gráficos, botões, LEDs, caixas de texto e outros controlos e indicadores. A figura A1.1 apresenta um exemplo de *front panel* para uma aplicação de monitorização de mistura de ingredientes :

¹³ - Stand-alone applications.

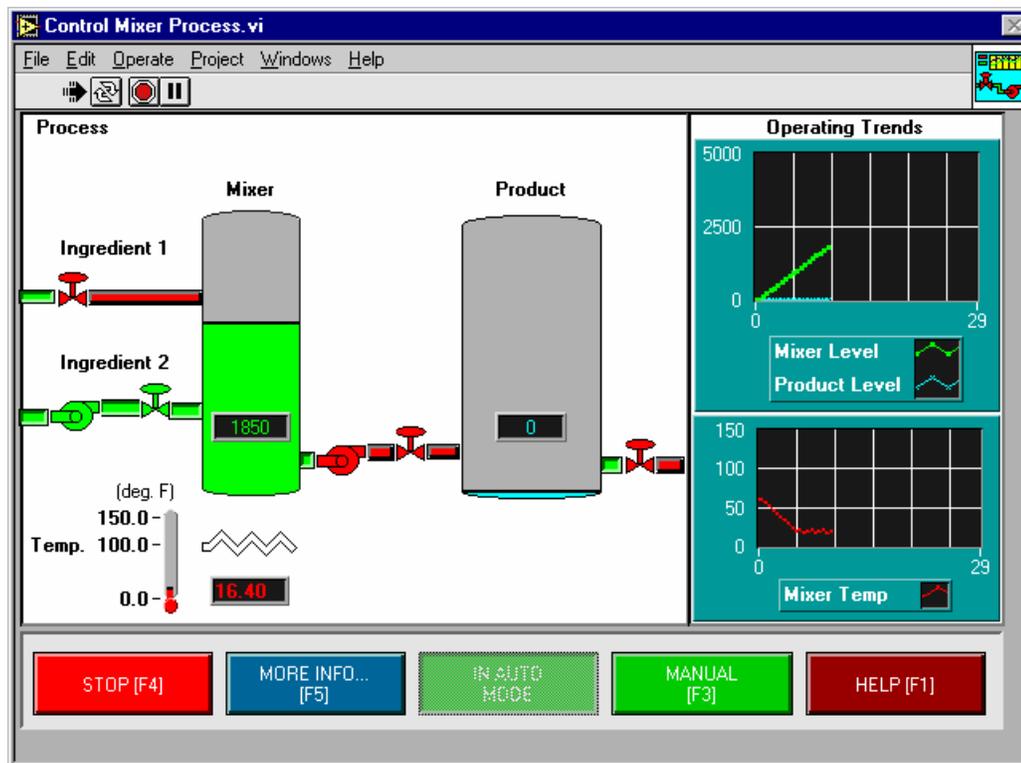


Fig. A1.1 - Exemplo de *Front Panel* de um VI.

2. Block Diagram

Esta componente é construída na linguagem 'G' e fornece os comandos e dados ao *front panel* e em sentido inverso recebe instruções do utilizador. O *block diagram* contém o código fonte do VI. Este código é baseado em ligações (que representam fluxos de dados) entre VIs, que são representados visualmente por ícones. Existe uma correspondência entre cada elemento do *front panel* e o respectivo par no *block diagram*. Os dados de entrada e de saída são fornecidos num formato de fácil leitura e compreensão pelo operador.

Tipos de dados diferentes são representados por ligações com cores e tipos de linhas diferentes por forma que se compreenda imediatamente o tipo de informação que flui entre VIs. A figura A1.2 apresenta o *block diagram* do instrumento virtual ***Control Mixer Process.VI*** :

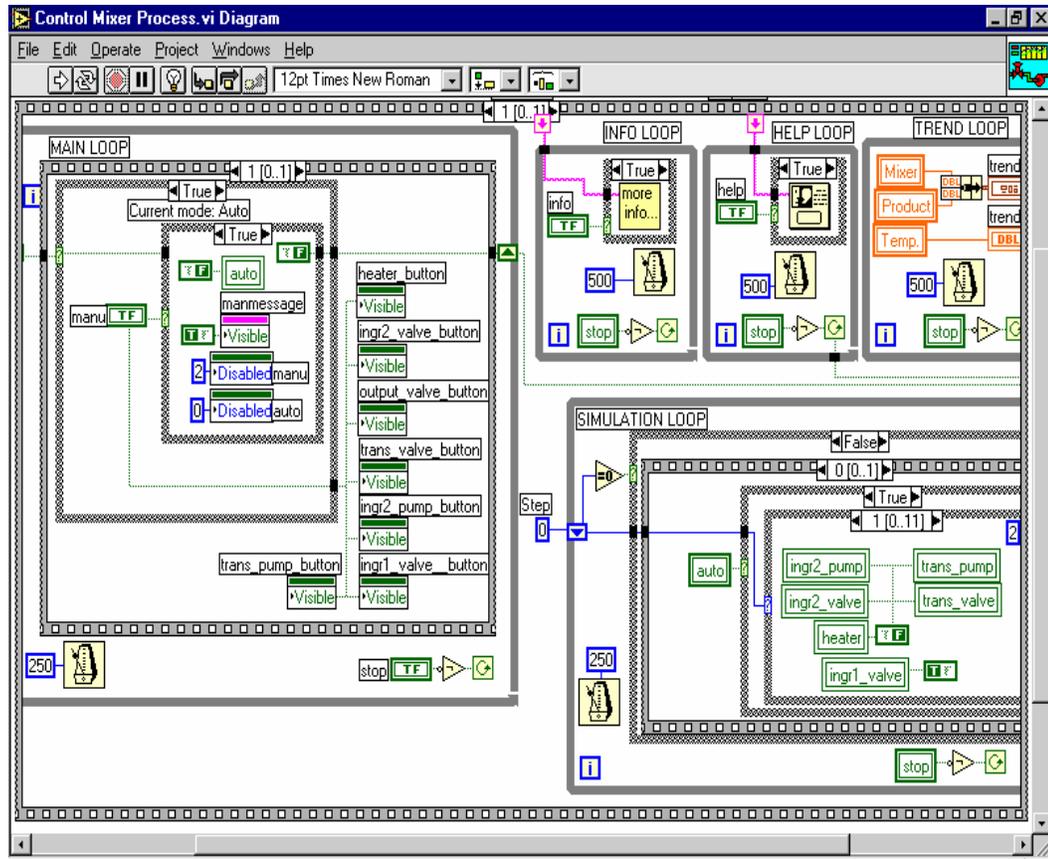


Fig. A1.2 - Exemplo de *Block Diagram* de um VI.

Cada VI possui uma série de sub-VIs. A natureza de organização destes VIs é hierárquica, conforme a figura A1.3.

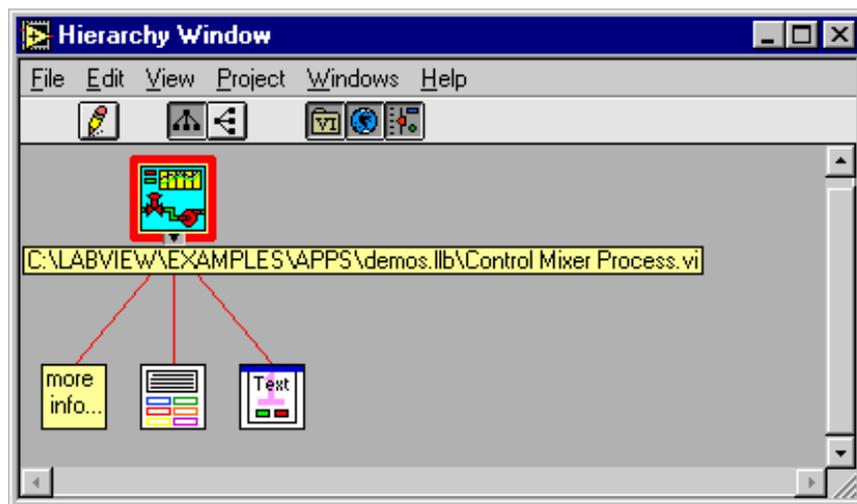


Fig. A1.3 - Hierarquia de VIs.

Cada Vi possui um ícone, que o representa visualmente e um *conector pane* que fornece uma lista dos pontos para estabelecimento de ligações com outros VIs. É através destes pontos de ligações que fluem os dados entre os VIs, figura A1.4.

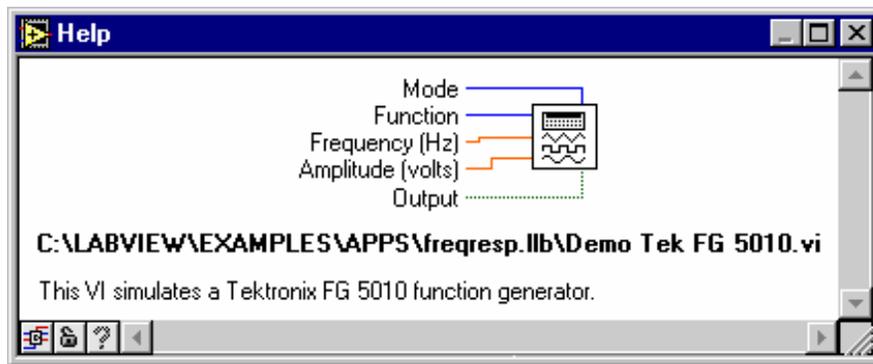


Fig. A1.4 - Exemplo de *conector pane* e respectivo *ícon* de um VI.

A construção de uma aplicação consiste essencialmente na construção da interface ao utilizador, facilitada por um conjunto de elementos pré-definidos e disponíveis na barra de controlos, figura A1.5, e também no desenvolvimento da estrutura e funções de processamento da informação, efectuada ao nível do *block diagram* através do uso de uma biblioteca de funções que o LabVIEW proporciona, figura A1.6.

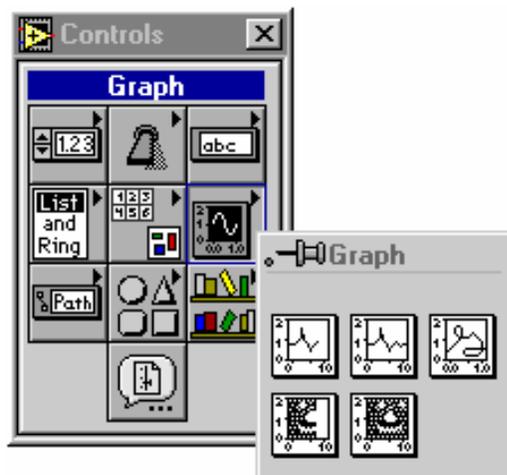


Fig. A1.5 – Elementos para construção da interface gráfica.

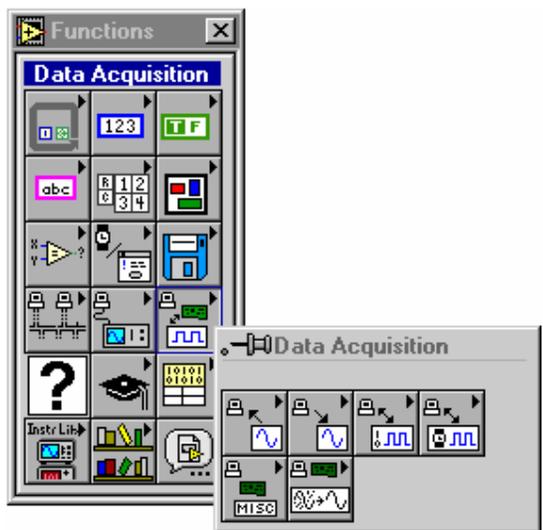


Fig. A1.6 – Biblioteca de funções do *LabVIEW*.

ANEXO II

*Front Panel e Block Diagram do VI **RemoteCNC-Client.VI***

Front Panel do VI *RemoteCNC-Client.VI*

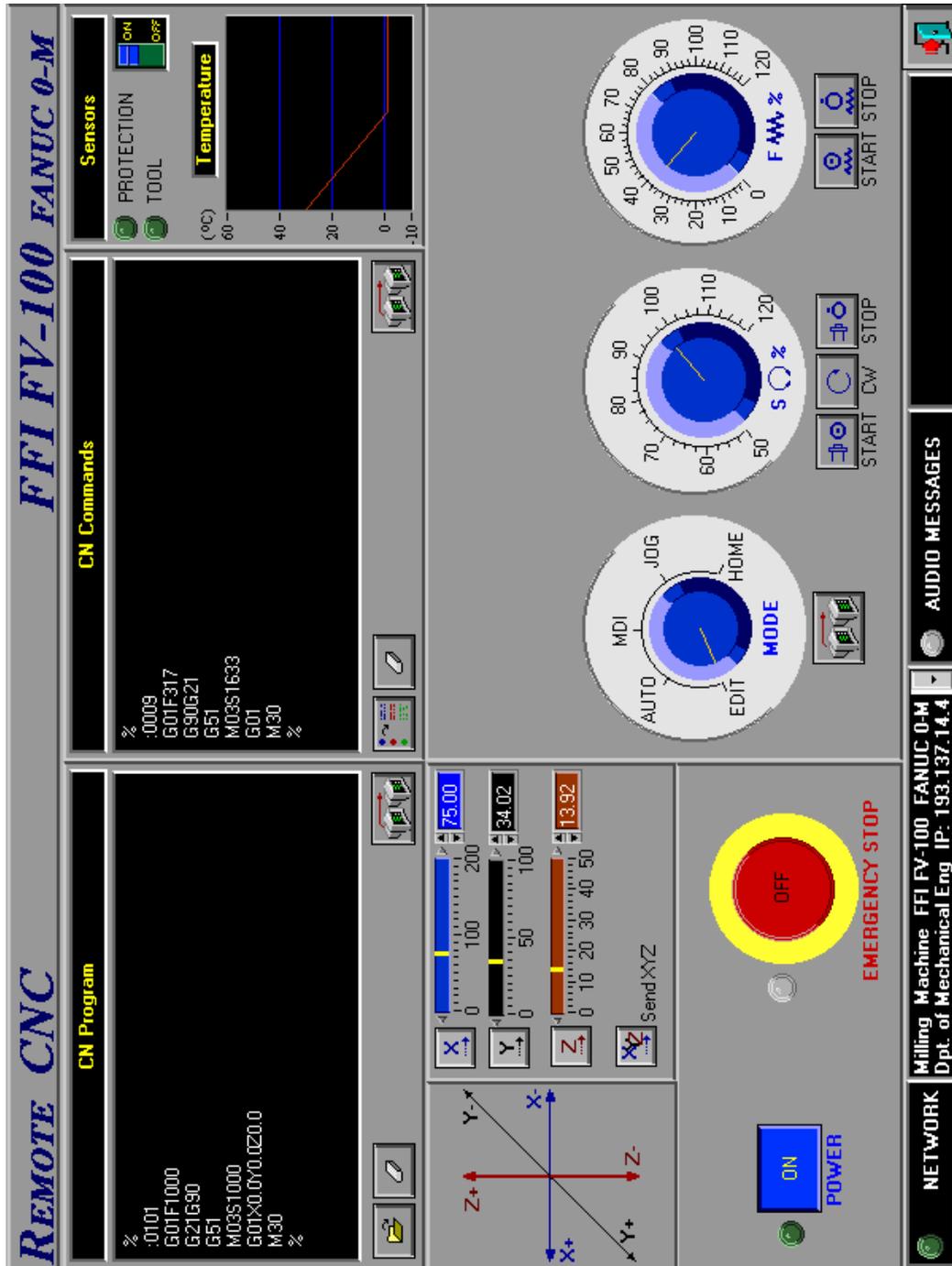


Fig. A2.1 – Front Panel do VI *RemoteCNC-Client.VI*.

Block Diagram do VI RemoteCNC-Client.VI :

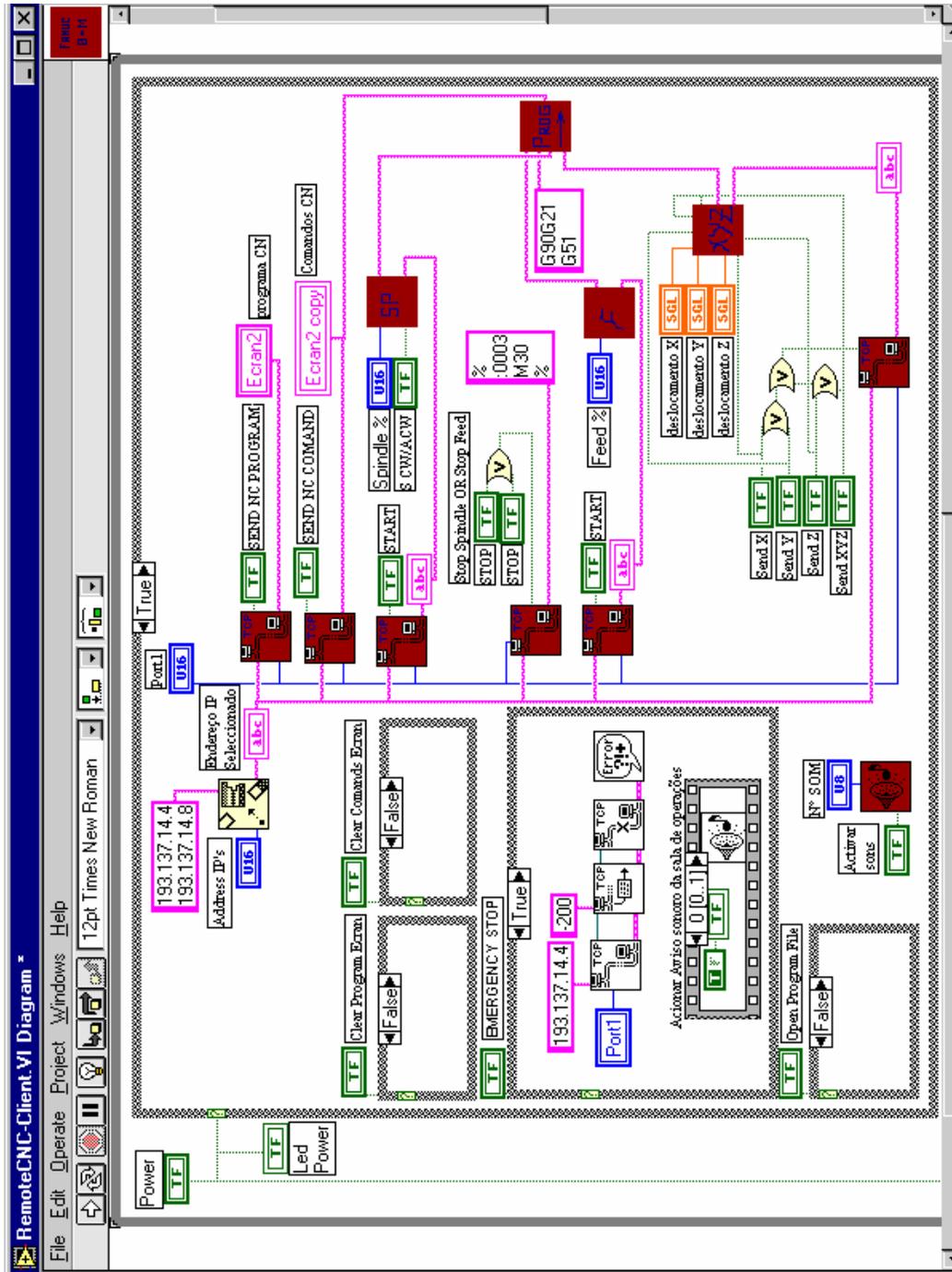


Fig. A2.2 – Block Diagram do VI RemoteCNC-Client.VI (parte 1).

Block Diagram do VI *RemoteCNC-Client.VI* (continuação)

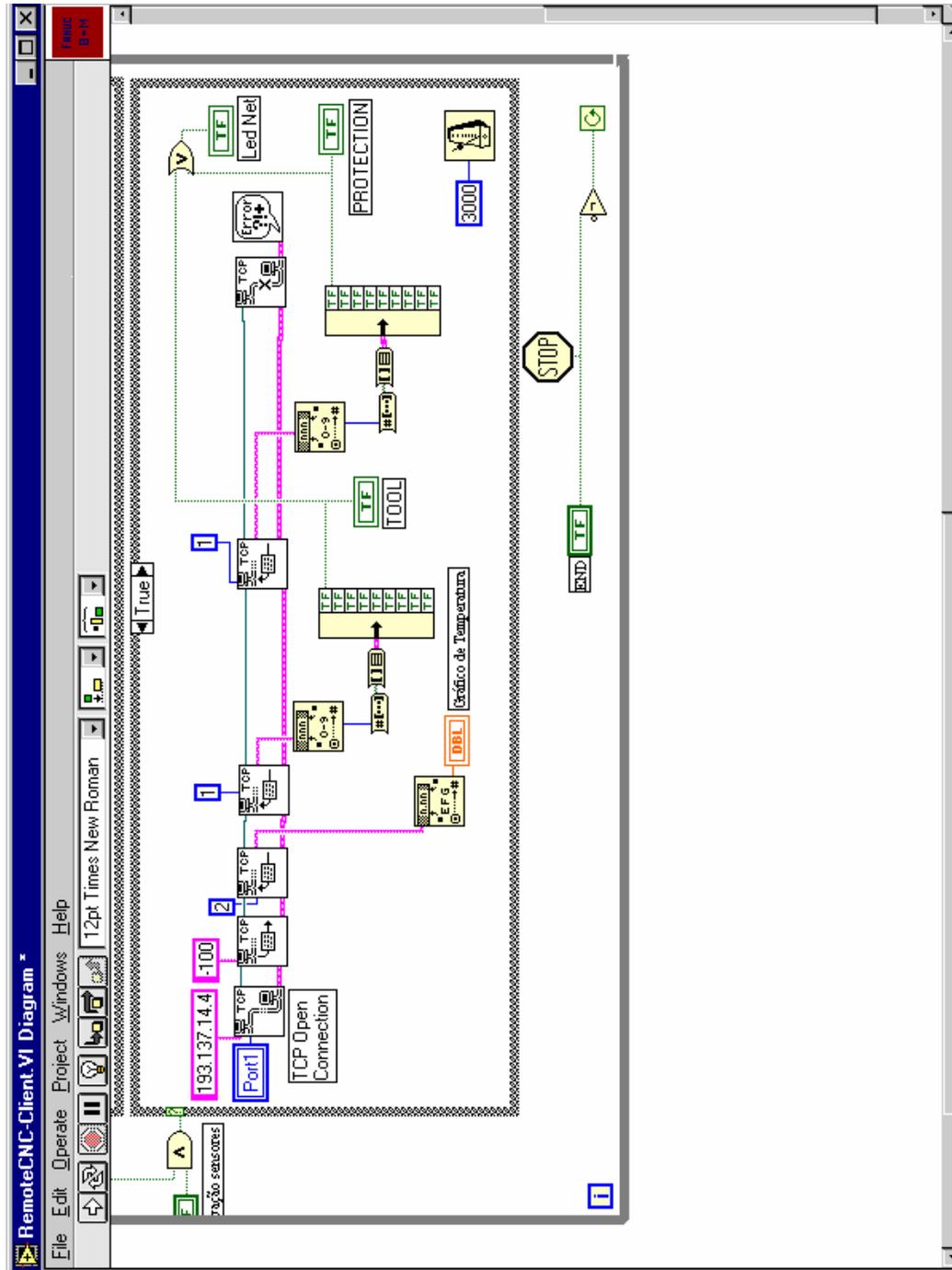


Fig. A2.1 – Block Diagram do VI *RemoteCNC-Client.VI* (parte II).

ANEXO III

*Front Panel e Block Diagram do VI **RemoteCNC-Server.VI***

Front Panel do VI *RemoteCNC-Server.VI* :

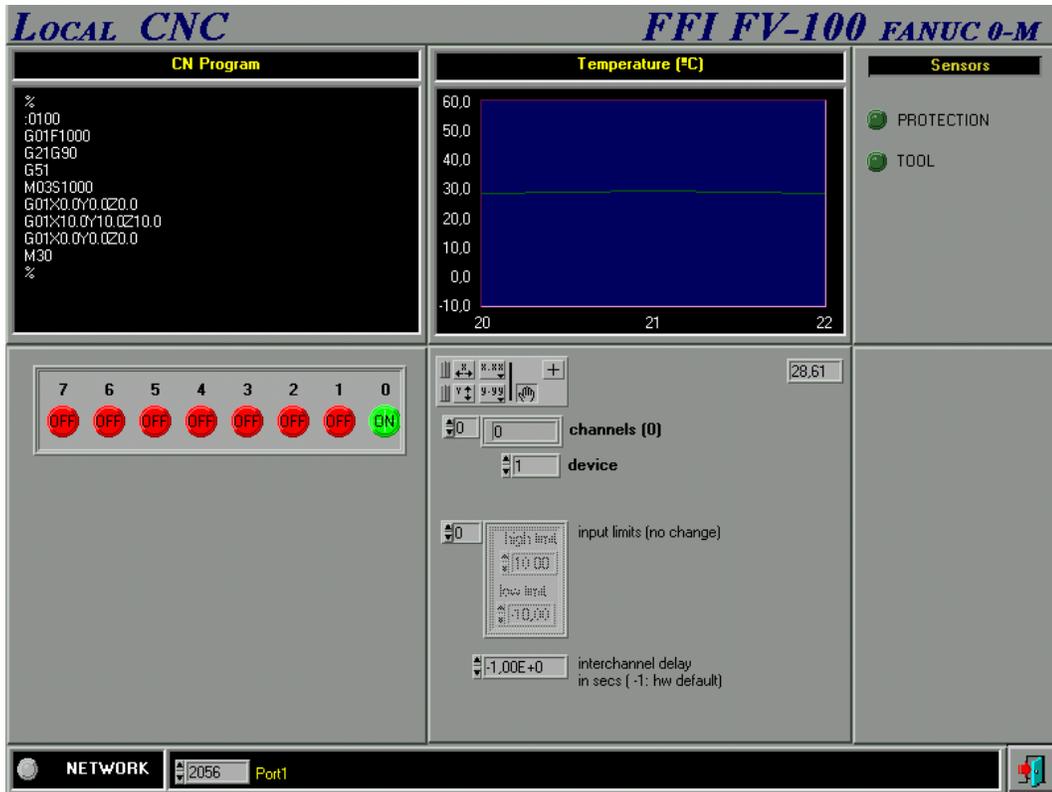


Fig. A3.1 – Front Panel do VI *RemoteCNC-Server.VI*.

Block Diagram do VI RemoteCNC-Server.VI :

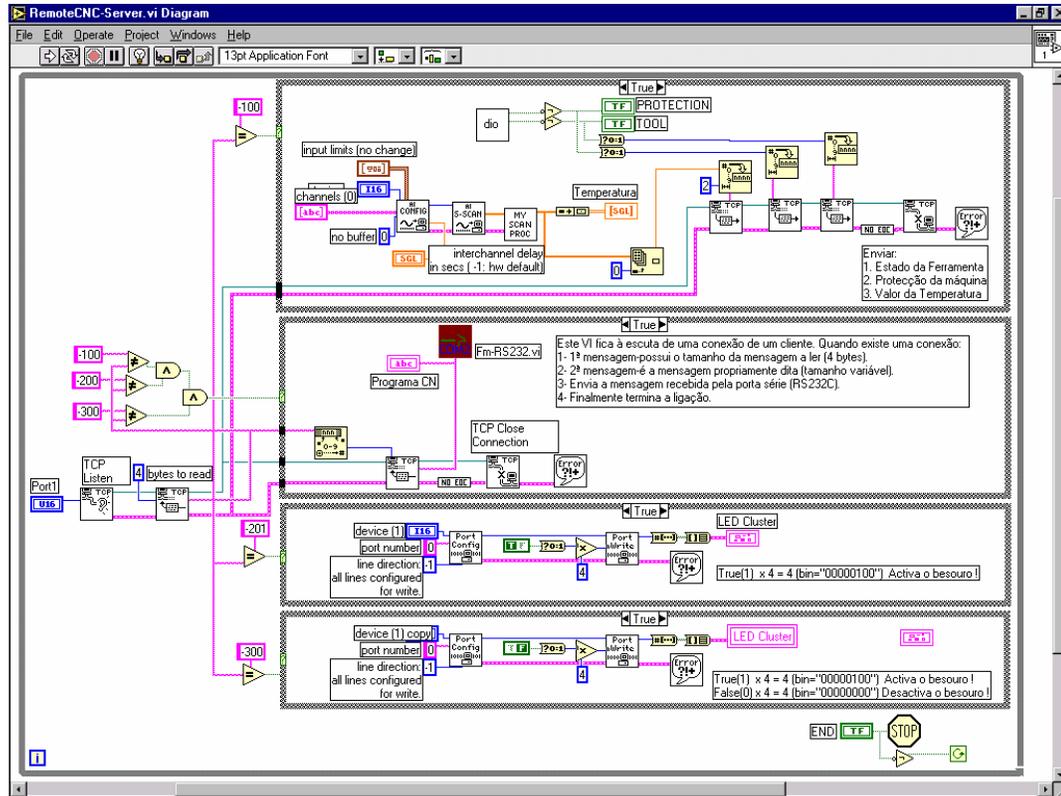


Fig. A3.2 - Block Diagram do VI RemoteCNC-Server.VI.

ANEXO IV

Hierarquia dos VIs *RemoteCNC-Client.VI* e *RemoteCNC-Server.VI*

ANEXO V

Aquisição de dados sensoriais

Aquisição de dados sensoriais

A figura A5.1 apresenta os diversos elementos sensoriais e actuadores implementados, nomeadamente sensores fotoeléctricos, microfone, sensor de temperatura e sinal sonoro. Apresentam-se ainda o módulo de alimentação, o módulo de condicionamento de sinal e o conector externo para ligação à placa de aquisição de dados AT-MIO-16E-10 :

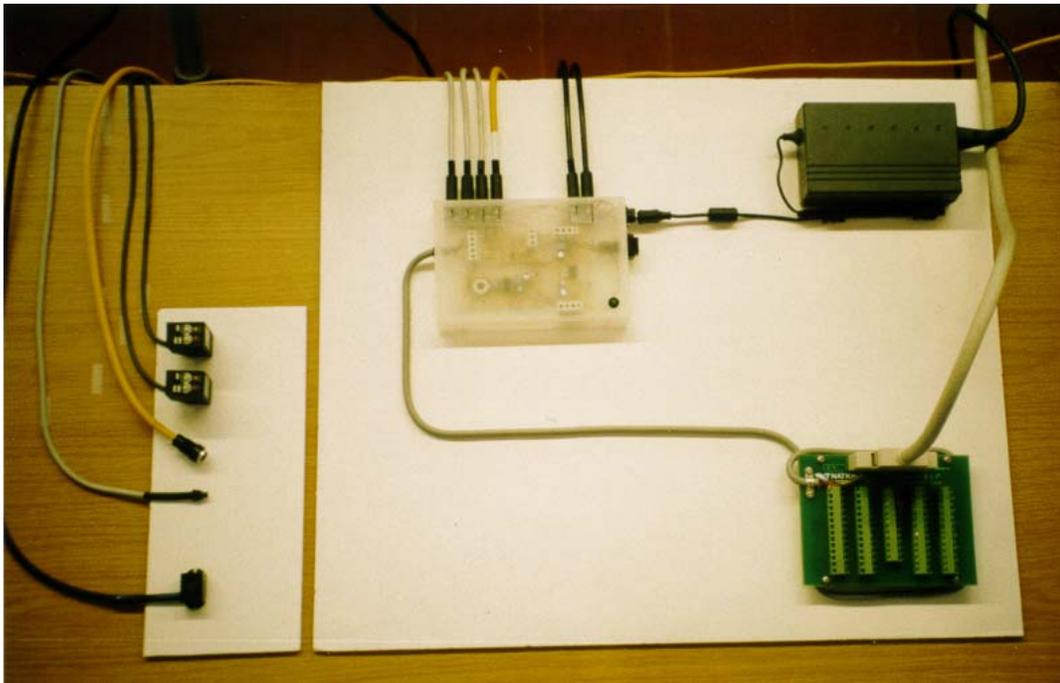


Fig. A5.1 - Sensores, actuadores, conector externo e módulos de alimentação e de condicionamento de sinal.

O módulo de condicionamento de sinal, permite executar todas as ligações aos sensores e ao actuador, realiza a adequação dos sinais aos diversos elementos do sistema e estabelece as ligações ao conector externo da placa de aquisição de dados instalada no computador que se encontra junto da fresadora.

A montagem eléctrica deste módulo é apresentada na figura A5.2 :

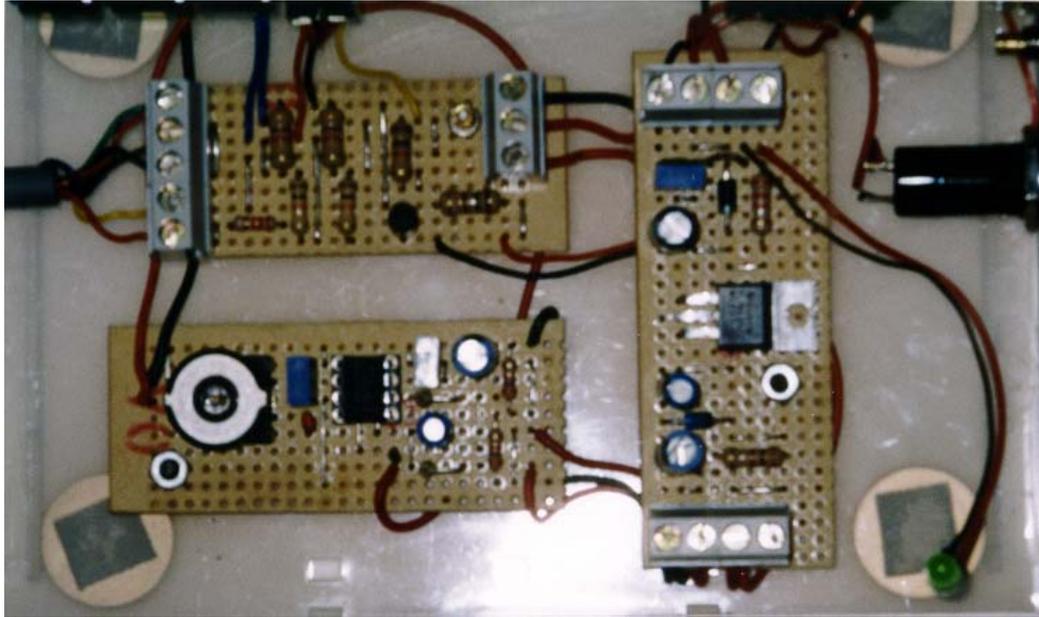


Fig. A5.2 – Montagem eléctrica do módulo de condicionamento de sinal.