

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - FEQ

Área de concentração:

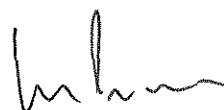
Sistemas de Processos Químicos e Informática.

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA SUPERVISÃO E CONTROLE  
DE PLANTAS DE PROCESSOS QUÍMICOS POR COMPUTADOR.

Autor: Renato Moraes Lima

Tese submetida à Comissão de Pós-Graduação da  
Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do Grau de Mestre.

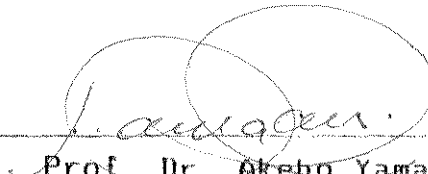
Aprovada por:



Prof. Dr. João Alexandre<sup>F</sup>(Ferreira)(da) Rocha Pereira  
(Orientador)



Prof. Dr. Sérgio Pérsio Ravagnani



Prof. Dr. Aketo Yamakami

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

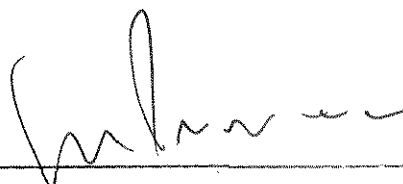
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - FEQ

Área de concentração:

Sistemas de Processos Químicos e Informática.

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA SUPERVISÃO E CONTROLE  
DE PLANTAS DE PROCESSOS QUÍMICOS POR COMPUTADOR.**

Este exemplar corresponde à redação final de Tese de Mestrado defendida por Renato Moraes Lima, aprovada pela Comissão Julgadora em 28/08/92.



---

Prof. Dr. João Alexandre Ferreira da Rocha Pereira  
(Orientador)

Campinas - SP - Brasil

Agosto - 1992

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - FEQ

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO

SISTEMAS DE PROCESSOS QUÍMICOS E INFORMÁTICA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA SUPERVISÃO E CONTROLE  
DE PLANTAS DE PROCESSOS QUÍMICOS POR COMPUTADOR.

Orientado : Renato Moraes Lima

Orientador : Dr. João Alexandre Ferreira da Rocha Pereira

Campinas - SP - Brasil

Agosto - 1992

Agradeço a:

Antônio Augusto de Souza Brito  
(LED - FEE - UNICAMP)

David Pinheiro Júnior (Computec Ltda.)

João Alexandre Ferreira da Rocha Pereira  
(DESO - FEQ - UNICAMP)

Juan Bautista Serrer (Computec Ltda.)

Roberto Bueno Castro Neves Galvão  
(Prosint-Produtos Sintéticos S.A.)

Sérgio dos Santos (YOKON-Engenharia e Informática Ltda.)

Sérgio Pérsio Ravagnani (DESO - FEQ - UNICAMP)

Wagner Aparecido Antunes (Centro de Computação - UNICAMP)

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nív. Sup.  
(Min. da Educação)

UNICAMP - FEQ - DESO

Agradecimentos especiais, a quem dedico este trabalho:

Antônio de Mello Lima

Cláudia Maria Chagas Bonelli

Luiza Campos Teixeira

Thaís Sá Moraes

Tiana dos Santos

## Resumo.

O presente trabalho foi desenvolvido para aplicações em Controle Supervisório de Processos Químicos, constando basicamente do desenvolvimento de programas para aquisição e tratamento de dados em tempo real. Os programas foram desenvolvidos para microcomputadores da linha IBM-PC. Do Capítulo 1 ao 5 é apresentado uma base de fundamentos para se trabalhar em Controle Digital de Processos Químicos, inserindo-se, contudo, por vezes a título de complementação, por outras somente como ilustração, alguns fundamentos do Controle Analógico que o antecedeu. O Capítulo 6 apresenta o trabalho desenvolvido propriamente dito, onde alguns dos fundamentos apresentados entre os Capítulos 1 e 5 foram aplicados. Além de aspectos supervisórios, foi inserido ao trabalho, ainda que de uma forma bastante elementar, aspectos de Controle Regulatório (nada além de leis de controle P, I e D). Quanto à supervisão efetuada, esta se faz no conjunto de programas através de leituras periódicas de valores dos pontos monitorados, apresentação em tela, formação de arquivos de dados constando também médias e outros valores de interesse estatístico e apresentação de tabelas de exibição dinâmica dos valores lidos para qualquer um dos canais ou de suas médias. Este trabalho não apresenta resultados totalmente conclusivos, ainda que nos modestos objetivos a que se destina, até porque, muito além de seus objetivos, o assunto aqui estudado descortina infinitos horizontes para estudos mais aprofundados. Os resultados seriam mais conclusivos caso um tempo maior fosse disponível para a realização de testes de otimização no desempenho dos programas. No tocante à parte de sinais de saída para controle, por exemplo, quatro critérios de algoritmos de controle PID foram desenvolvidos, sem no entanto se testar qual deles é o mais eficiente; quanto às apresentações em tela, estas se limitaram à formação de tabelas por canal, bem como uma tela mais geral onde sempre aparece o último valor lido em cada canal monitorado, sem a formação em tempo real de gráficos, que costumam ser uma forma usual e bem interessante de análise do comportamento dinâmico de uma variável qualquer. Diante disso existe antes da citação das referências um 7º capítulo onde se evidenciam problemas, conclusões e sugestões.

## ÍNDICE:

	pág.
1. Introdução.....	1
2. Objetivos de Controle Industrial.....	3
2.1. Controle Supervisório ("Supervisory Control").....	3
2.1.1. Objetos de Supervisão.....	4
2.1.1.1. Supervisão de Variáveis de Processo.....	4
2.1.1.2. Supervisão de Produtos.....	5
2.1.1.3. Supervisão de Equipamentos - CLP ("PLC").....	5
2.1.2. Níveis de Interação Controle - Processo.....	7
2.1.2.1. "Off-line".....	9
2.1.2.2. "In-line".....	9
2.1.2.3. "On-line".....	10
2.2. Controle Regulatório.....	12
2.2.1. Controle por Realimentação ("Feedback Control").....	13
2.2.1.1. Lei Proporcional.....	13
2.2.1.2. Lei Integral.....	14
2.2.1.3. Lei Derivativa.....	16
2.2.2. Controle do Tipo Cascata ("Cascade Control").....	17
2.2.3. Controle Razão ou Controle Relação ("Ratio Control").....	18
2.2.4. Controle Antecipativo ("Feedforward Control").....	19
2.2.5. Controle Adaptativo ("Adaptive Control").....	21
2.3. Sistema Especialista ("Expert System").....	22
3. Equipamentos e Instalação para Controle.....	23
4. Métodos de Controle Industrial.....	28
4.1. Controle Analógico.....	28
4.2. Controle Digital.....	28
4.2.1. Maleabilidade e Possibilidades.....	29
4.2.2. Base Matemática e Capacidade de Cálculos.....	30
4.2.3. Conversões A/D e D/A: Precisão, Velocidade e Custo.....	31
4.2.4. Conversões A/D e D/A: Compatibilidade e Linguagens.....	32
4.2.5. Sistemas Distribuídos de Controle.....	35

	pág
5. O Sistema Computacional de Supervisão.....	37
5.1. O IBM-PC.....	39
5.2. A Placa Taurus ADA.....	41
5.2.1. Entradas Analógicas.....	41
5.2.2. Saídas Analógicas.....	43
5.2.3. Entradas Digitais.....	44
5.2.4. Saídas Digitais.....	44
5.2.5. Testes.....	45
5.3. O Turbo C.....	48
5.4. Estrutura Computacional e Testes.....	50
5.4.1. GERNT.....	56
5.4.2. FORMA.....	61
5.4.3. ALTERA.....	77
5.4.4. SIMPER/SUPER.....	83
6. Sugestões e Conclusões.....	105
7. Referências.....	109

## FLUXOGRAMAS E DIAGRAMAS DE BLOCO:

	págs.
Teste.....	51 e 52
GERNT.....	60
FORMA.....	75 e 76
ALTERA.....	82
SIMPER/SUPER.....	102 a 104



## 1. INTRODUÇÃO.

## 1. Introdução.

Desde de o surgimento da indústria no sistema produtivo, esta, por sua própria concepção, sempre teve preocupação com quantidade e qualidade de produção, sendo que a princípio praticamente só a quantidade era preocupante, a qual quanto maior, melhor. Com a evolução da sociedade, qualidade, segurança operacional e preocupação com a agressão à natureza foram gradativamente se tornando quesitos relevantes neste contexto. Mesmo no início deste processo, quando somente a quantidade produzida era relevante, o controle industrial já era uma necessidade marcante, contudo este controle rudimentar era uma forma grosseira do que hoje em dia se entende por ECP (Planejamento e Controle de Produção). Mais ou menos nesta época criou-se o conceito de *reparabilidade industrial*, onde a preocupação da manutenção das características dos produtos produzidos em série indicava um aumento de lucros em virtude de uma minimização de perdas industriais por refugo, bem como devido a uma melhor imagem do produto final perante à clientela consumidora. Neste estágio a preocupação com qualidade começa a despontar. Começam a surgir *Sistemas de Controle Regulatório*, ainda que rudimentares, onde a atuação humana era praticamente responsável por todo esse controle. Com o passar do tempo máquinas e dispositivos foram sendo desenvolvidos no sentido de diminuir o percentual de atuação humana em substituição pela atuação destas. A segurança operacional e mais recentemente a agressão ao meio ambiente foram outros fatores que, por passarem a preocupar sociedade e governos, contribuíram cada vez mais na evolução e sofisticação dos processos produtivos, bem como de seus sistemas de controle.

Na indústria moderna, controlar a produção, o estoque, a qualidade (atualmente até por métodos estatísticos mais sofisticados), a qualidade de matérias-primas, as variáveis do processo, as condições de cada equipamento e até por fim a satisfação da clientela consumidora são tarefas indispensáveis. Muitas dessas tarefas são executadas por pessoas ligadas a *Controle de Qualidade*. Por *Controle de Processos* se entende controle de variáveis de processo e controle de equipamentos. Neste tipo de controle pode-se destacar primeiramente a *ação supervisão*, que está mais relacionada à *análise do processo*, que, além dos dados históricos da unidade, muitas vezes se vale de modernos simuladores (não-dinâmicos) de processos objeti-

vando basicamente projeto, otimizações e ampliações. A segunda ação usual em Controle de Processos é a ação regulatória, que se relaciona com a operabilidade da Unidade Industrial. Nesta ação regulatória já começam hoje em dia a entrar como ferramentas auxiliares também os simuladores de processos, sendo estes porém dinâmicos. Uma terceira e última ação que se pode destacar em Controle de Processos é a ação de um especialista, que também se relaciona com a operabilidade da Unidade Industrial, contudo esta ação especialista se destina a resolver casos pouco comuns que fogem às operações rotineiras da produção.

## 2. OBJETIVOS DE CONTROLE INDUSTRIAL

## 2. Objetivos de Controle Industrial.

Em termos didáticos pode-se dizer que o Controle Industrial apresenta três objetivos distintos, sendo eles os objetivos super-visorio, regulatório e especialista, conforme visto no capítulo introdutório, contudo em termos práticos, principalmente diante dos sistemas mais modernos de controle que já estão operando hoje em dia em muitas indústrias, percebe-se que tal divisão só tem propósitos didáticos, uma vez que a concepção de tais sistemas modernos é suficientemente ampla para englobar muitas vezes até os três objetivos simultaneamente. Ao longo deste e dos próximos capítulos isto ficará mais claro.

### 2.1. Controle Supervisório ("Supervisory Control").

Tendo por objetivo básico, segundo classificação de Pereira (1991), supervisionar as variáveis do processo a controlar, as características dos produtos finais (por vezes também as características de alguns produtos intermediários) e o estado operacional dos equipamentos, tal modalidade de Controle de Processo não atua necessariamente no mesmo, mas quando isso ocorre, se faz de uma forma muitas vezes indireta, alterando parâmetros dos equipamentos que diretamente atuam sobre esse processo. O Controle Supervisório precisa basicamente gerar tabelas e/ou gráficos contendo a evolução dinâmica das variáveis do processo em controle. Os dados resultantes deste trabalho são geralmente utilizados pelos setores de PCP e de Engenharia de Desenvolvimento de Processos, além do próprio Setor de Operação da indústria em questão. A utilização de equipamentos analógicos para esta finalidade tem como resultados a geração de gráficos de disco ou de rolo, ou também tabelas, mas que neste caso são fruto de anotações periódicas efetuadas pelos operadores em turno de revezamento. A utilização de equipamentos digitais na execução da mesma tarefa é muito mais interessante, uma vez que se pode criar um sistema mais bem moldado especificamente para os interesses da empresa usuária. A tarefa computacional consiste a princípio na leitura de dados, armazenamento em memória, exibição de tabelas e gráficos em tela de monitor de vídeo e/ou em impressora ou traçador de gráficos ("plotter"), cálculos estatísticos de médias, desvios e outros para melhor caracterizar o histórico, cálculos de tendên-

cia para o futuro próximo com base de origem simplesmente estatística do histórico ou de cálculos mais sofisticados e certos com base numa modelagem e simulação dinâmica apropriada. A utilização do computador também pode incluir (e normalmente inclui) o cálculo de valores de saída aos atuadores do Processo Industrial a controlar (deixando neste caso de ser um controle meramente supervisório para exercer também ação regulatória) através de algoritmos de controle muitas vezes até com base em concepções mais sofisticadas do que um simples Controle por Realimentação, como, por exemplo, Controle Antecipativo e Controle Adaptativo, conforme se verá mais a diante. A possibilidade de acoplamento de um Sistema Especialista é outra característica interessante, conforme também se verá mais a diante.

#### 2.1.1. Objetos de Supervisão.

A supervisão de variáveis de processo e a de características de produtos finais (e intermediários) tem como objetivo basicamente a manutenção destes produtos finais dentro das faixas permissíveis pelas especificações; já a supervisão dos estados operacionais dos equipamentos tem por objetivo fazer com que os equipamentos do processo operem de forma a viabilizar as variáveis do processo em seus valores ideais (valores de referência ou "set-points"), bem como e conseqüentemente os produtos finais dentro das especificações. Esta supervisão de estados operacionais dos equipamentos também pode auxiliar ao Setor de Manutenção da indústria em questão no tocante à manutenção preventiva e até mesmo à manutenção corretiva.

##### 2.1.1.1. Supervisão de Variáveis de Processo.

A Supervisão de Variáveis de Processo se dá na indústria química a princípio em temperaturas, pressões, vazões e níveis, contudo ela envolve (ou pelo menos pode envolver) muitas vezes outras variáveis cujas medições são mais complexas, demoradas e/ou que utilizam analisadores, que são equipamentos mais sofisticados e *delicados* (obs. - *delicados* para a alocação física no interior normalmente *agressivo* de uma Unidade Industrial). Tais variáveis são concentração, densidade, viscosidade, cor, pH, condutividade, umidade, granulometria,

esfericidade, resistência ao impacto, etc.. Uma vez que estas últimas variáveis apresentem formas mais complexas e demoradas de medição, a inferência destas nas quatro primeiras variáveis apresentadas (temperatura, pressão, vazão e nível) é uma solução bastante utilizada, a qual prescinde, contudo, de verificação posterior. Conforme cita o trabalho de Englemann & Abraham (1984), a existência de alarmes acoplados ao sistema é possível, conveniente, e muitas vezes imprescindível para que a supervisão das variáveis de processo assegure a qualidade do produto final, bem como a segurança operacional.

#### 2.1.1.2. Supervisão de Produtos.

A supervisão das características finais dos produtos e muitas vezes também de produtos intermediários se dá basicamente a partir dos dados de laudos do Laboratório Controle de Qualidade. Estes são portanto dados oriundos de análises, que, por apresentarem maior confiabilidade, são também testes de consistência dos sistemas inferenciais de medidas, os quais, quando apresentam desvios, devem ser corrigidos.

Tanto na supervisão das variáveis de processo, quanto na supervisão das características finais dos produtos, os procedimentos realizados objetivam também analisar a confiabilidade dos dados enviados pelos instrumentos de medida (termopares, manômetros, etc.). Muitas vezes o cálculo inferencial está correto, contudo o equipamento de medição primária pode estar apresentando defeito. Certas vezes, valores, por exemplo, de pressão e de temperatura no interior de um mesmo vaso podem indicar que pelo menos uma das duas medições está errada.

#### 2.1.1.3. Supervisão de Equipamentos - CLP ("PLC").

A supervisão dos estados operacionais dos equipamentos esta praticamente restrita à filosofia original de Controle Lógico Programável - CLP, ainda que possa eventualmente englobar outros aspectos. Conforme os trabalhos de Bassa (1989) e de Pereira (1991), a filosofia original dos CLP's nada mais era do que circuitos analógicos providos de uma quantidade razoavelmente grande de relés, os quais ligavam e desligavam

equipamentos, exercendo portanto controle nos processos ditos discretos, que são aqueles que envolvem, por exemplo, partida e parada de bombas, agitadores ou misturadores; abertura e fechamento de válvulas onde ocorrem escoamentos intermitentes, ou seja, processos em que o importante é estar ou não operando um equipamento, e não a magnitude de sua operação. Este controle é o mais simples dentre os tipos de Controle Regulatório, conhecido por "ON/OFF" (LIGADO/DESLIGADO), e como se pode perceber atua necessariamente no processo, o qual pode ser em regime contínuo, contudo o mais usual é em regime de bateladas. Com este tipo de controle pode-se supervisionar o estado operacional de vários equipamentos e, através de intertravamentos específicos, proteger o sistema contra combinações de operação definidas como proibidas por acarretar em perigo, ou perda de uma batelada, ou enfim outro dano qualquer.

Além destes aspectos associados ao CLP, a Supervisão de Equipamentos pode englobar outros aspectos como monitorar um equipamento em operação e indicar quando este deve ser retirado de serviço, como, por exemplo, o caso de um filtro cuja perda de carga excessiva indique a necessidade de limpeza do mesmo, ou um trocador de calor cuja redução na eficiência de troca também indique a mesma necessidade.

Com o avanço da eletrônica digital, a filosofia associada aos CLP's foi um pouco alterada, extrapolando em muitos casos o uso da função "ON/OFF". Há no mercado muitos CLP's que são simplesmente versões digitais de equipamentos analógicos dotados da função elementar de Controle "ON/OFF", o que significa a utilização de elementos muito nobres e poderosos para execução tão simples, caracterizando-se assim um mal uso dos mesmos. A boa utilização de tais elementos gera CLP's mais inteligentes, os quais também podem ser encontrados no mercado, e que são dotados de maiores potencialidades, podendo efetuar controles do tipo PID, Cascata, Razão, etc., fugindo portanto de suas concepções originais. Estas unidades mais sofisticadas estão sendo largamente usadas como unidades controladoras em grandes sistemas de Controle Distribuído, onde um Computador Central gerencia várias dessas unidades,



conforme se verá mais a diante.

### 2.1.2. Níveis de Interação Controle - Processo.

Sistema em Tempo Real (Isaak, 1984) é aquele em que as respostas e/ou ações de comando são imediatamente efetuadas conforme dados vão sendo inseridos ao mesmo, ou seja, é cada atitude tomada *quase que simultaneamente* a cada estímulo, *podendo-se em termos práticos considerar a simultaneidade*. Ainda que a atitude seja tomada posteriormente, pois não pode na prática ser tomada simultaneamente ao estímulo, esta atitude é tomada logo em seguida (nos processos por amostragem discreta a atitude é tomada ainda antes do próximo estímulo, ainda antes da inserção do próximo dado), o que torna válida a consideração de simultaneidade. Os Sistemas Analógicos de Controle têm sempre execução em Tempo Real; já os Sistemas Digitais nem sempre (Controle Regulatório é feito necessariamente em Tempo Real; Controle Supervisório não é necessariamente feito em Tempo Real). Sistemas Digitais operando em Tempo Real apresentam suas vantagens em relação à outra forma (que não é em Tempo Real): a primeira se deve ao fato de que o número de dados gravados é em geral acentuadamente reduzido, pois os dados passam a ser gravados após um pré-processamento imediato, onde somente pontos amostrados relevantes são arquivados (neste caso a velocidade de processamento precisa necessariamente ser maior do que a frequência mínima - ótima - de amostragem); a segunda vantagem é devida ao fato de que simultaneamente aos acontecimentos vão sendo realizadas suas análises e tratamentos. Sobre Processos por Amostragem Discreta (sempre digitais) se faz necessário esclarecer que um sistema de medida opera normalmente com um sinal analógico de tensão ou de intensidade de corrente, que por sua vez tem origem em uma variável física. O monitoramento perfeito da evolução dinâmica de uma grandeza física deve ser feito continuamente, o que em termos práticos não é possível (em Sistemas Digitais). Requer então determinar que frequência mínima é necessária para se reproduzir essa evolução dinâmica da grandeza física. Segundo o Teorema de Amostragem de Shanon (Pereira, 1991) a frequência de amostragem, ou seja, o número de leituras por intervalo de tempo, deve

ser pelo menos igual ao dobro da frequência da onda do processo amostrado. Isto posto, dá a noção errada de que quanto maior for a frequência de amostragem mais fidedigna esta é à realidade física, o que não é exatamente verdadeiro. Muitas vezes frequências de amostragem elevadas chegam até a atingir desnecessariamente a OG (Ordem de Grandeza) de ruídos do Sistema de Controle (geralmente ruídos de transmissão, que são de frequência bem mais elevada do que a frequência de operação do processo), acarretando em uma tarefa a mais - a filtragem desses ruídos - que se não for feita ou se for mal feita pode trazer problemas na utilização de lei derivativa no algoritmo de controle, uma vez que ruídos são oscilações muito rápidas e para esta lei de controle quanto mais rápida é a variação, mais intensa é a ação de correção, conferindo por fim instabilidade ao controle. Além disso, segundo o trabalho de Wyss (1984), frequências de amostragem elevadas só podem sofrer conversão A/D (de sinal analógico para sinal digital) de baixa resolução (baixa precisão), uma vez que circuitos conversores A/D de resoluções mais elevadas sejam de um modo geral suficientemente lentos para atender às necessidades de tais frequências de amostragem; por outro lado os conversores A/D cujas velocidades de conversão atendem às necessidades dessas frequências de amostragem mais elevadas apresentam resoluções que normalmente não atendem às exigências de Controle Industrial, mas a resolução de conversores A/D será melhor discutida mais a diante.

Em oposição aos Sistemas em Tempo Real tem-se os Sistemas de Processamento Posterior (Isaak, 1984), onde numa primeira fase somente são inseridos os dados e numa segunda e última fase tais dados são processados. Assim como o Processamento em Tempo Real este também apresenta duas vantagens: a primeira delas é dispensar a formação de um conjunto de ordens prévias a serem tomadas em Tempo Real conforme estes dados vão sendo lidos, isto é, não é necessário previamente definir o tratamento a ser dado aos valores lidos, podendo ser feito posteriormente, e, para um mesmo conjunto de leituras, de várias formas diferentes, uma vez que tais leituras permaneçam gravadas (muitas vezes, somente após um mesmo

conjunto de valores ser submetido a vários critérios de tratamento de dados é que se chega a uma conclusão sólida sobre o evento analisado) ; a segunda vantagem é que os tratamentos de dados a que eventualmente se queira submeter tais leituras podem ter grande complexidade e ocupar um tempo computacional elevado , porque especificamente nestes casos tempo computacional costuma ser uma preocupação menor.

De uma forma mais geral , onde também se englobam aplicações analógicas pode-se classificar o Sistema de Controle (Pereira , 1991) não em dois , mas sim em três níveis distintos de interação com a Unidade de Processo Industrial. São eles:

- "off-line";
- "in-line";
- "on-line".

#### 2.1.2.1. "Off-line".

O modo "off-line" não tem nenhum interesse para os aspectos usuais de operação, cabendo aos operadores toda a manipulação direta da Unidade de Processo . Nesta modalidade há uma coleta manual de dados por parte do operador , para que algum tempo depois tais dados sejam processados e estatisticamente tratados. Ver figura 1.



Fig. 1: Modo "off-line". As linhas pontilhadas indicam intervenção humana ; as linhas contínuas indicam relações diretas entre equipamentos.

#### 2.1.2.2. "In-line".

O modo "in-line" apresenta como principal distinção em relação ao modo anterior a característica de a alimentação dos dados ser de forma rápida, freqüente e direta. Este já é um modo de controle mais interessante, uma vez que existam no sistema produtivo em nossos dias alguns tipos de produção para os quais ainda não existem sensores capazes de efetuar a aquisição e o envio de dados . Em tais circunstâncias a presença humana ainda é indispensável.

Figure 1. Schematic representation of the experimental design. The subjects were divided into two groups: the control group and the experimental group. The control group was divided into two subgroups: the control group and the experimental group. The experimental group was divided into two subgroups: the control group and the experimental group. The control group was divided into two subgroups: the control group and the experimental group. The experimental group was divided into two subgroups: the control group and the experimental group.

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

[illegible]

Ainda se...

ma (em t...

sição de...

formente...

cesso", p...

o de lado...

um ou o)

idade z. b...

, numa...

re (em...

(como)

for...

...

distintos e abaixo deste como alarmes de mínimo. O menor dos dois valores acima do valor de referência tem o código H ("High") e o maior tem o código HH ("High-High"). De forma semelhante, o maior dos dois valores abaixo do valor de referência tem o código L ("Low") e o menor tem o código LL ("Low-Low"). No sistema assim configurado pode-se determinar por suposição que qualquer valor lido maior do que o de código L e menor do que o de código H seja considerado normal, não levando o sistema a tomar qualquer atitude (está dentro da faixa operacional); no entanto qualquer valor maior do que o de LL e menor ou igual ao de L leva o sistema a "acionar" um alarme, bem como caso este valor lido seja menor do que o de HH e maior ou igual ao de H. Por fim qualquer valor lido menor ou igual ao de LL leva o sistema a acionar um alarme e tomar outras providências pré-determinadas; e, de forma semelhante, qualquer valor lido maior ou igual ao de HH leva o sistema a acionar um alarme e tomar também outras providências pré-determinadas, que poderão ser ou não as mesmas tomadas caso o valor lido seja menor ou igual ao de LL. Em quaisquer casos que levem ao acionamento de um alarme, este só para de soar quando o operador aciona um comando indicativo de que tenha tomado ciência do fato. Neste exemplo ilustrativo tem-se dois níveis de alarme acima e dois níveis de alarme abaixo da faixa operacional, mas o Sistema de Controle pode ser configurado para qualquer grau de complexidade.

O Controle em Tempo Real de Ação Regulatória (algo além da ação apenas supervisória) está num nível de sofisticação ainda acima em relação aos anteriores, pois além de englobar todos os pré-requisitos das modalidades anteriores envolve saídas que podem atuar direta ou indiretamente no processo. Num Controle Digital Direto - DDC ("Direct Digital Control"), as entradas, os cálculos dos algoritmos e as saídas são efetuadas por um único computador. Num Controle Supervisório, a Unidade Central indica os valores de saída a outros dispositivos de controle que no entanto têm geralmente autonomia de decisão sobre a aplicação ou não do valor indicado (geralmente tais sistemas têm uma escala de prioridades previamente definida).

## 2.2. Controle Regulatório.

Esta modalidade de controle é diretamente aplicada ao processo industrial, isto é, aos equipamentos que o compõe, e tem por objetivo manter as variáveis do dito processo em seus valores de referência, sendo portanto, segundo Pereira (1991), necessariamente "on-line". Conforme foi visto em "2.1.1.3. Supervisão de Equipamentos", os CLP's, em sua filosofia original (Bassa, 1989), podem ser usados em processos em regime contínuo, ainda que sejam geralmente usados em processos de regime em bateladas. De forma semelhante, porém inversa, as técnicas de Controle Regulatório são usuais em processos contínuos, ainda que possam ser usadas em processos de bateladas (Controle Regulatório em processos de bateladas deve ser adaptativo, o que apresenta alto grau de complexidade).

O Controle Regulatório se valeu a princípio da idéia de Controle por Realimentação, também conhecido por Controle Clássico. Com a evolução, outras modalidades mais sofisticadas de controle foram sendo envolvidas, sendo ainda assim algumas delas por realimentação tais como Controle Cascata e Controle Razão, e outras ainda mais afastadas desta idéia como Controle Antecipativo e até mesmo Controle Adaptativo.

Os equipamentos de Controle Regulatório, sejam analógicos ou digitais, são sempre projetados para operar de forma automática, isto é, em malha fechada, mas também sempre apresentam a alternativa de operação em malha aberta, funcionando neste caso apenas como um equipamento de servo-mecanismo (dito servo-controle), ou seja, nada mais do que uma extensão até a Sala Central de Controle do comando da válvula da malha aberta em questão. Isto permite fazer com que à distância (dentro da Sala de Controle) o operador manipule a válvula, e esta opção se deve à possibilidade de paradas, partidas e paradas do processo, que são as situações usuais de operação irregular, fora do regime estacionário normal da Unidade. Em malha aberta (controle manual) a responsabilidade do controle é unicamente do operador; o equipamento para de enviar ao atuador do processo as respostas de seus cálculos próprios.

### 2.2.1. Controle por Realimentação ("Feedback Control").

A primeira técnica de Controle Regulatório (necessariamente "on-line", ainda que os termos "off-line", "in-line" e "on-line" sejam usualmente empregados em Controle Digital) que surgiu foi a chamada técnica de Controle por Realimentação ("Feedback Control"), a qual, após o surgimento de novas técnicas de Controle Regulatório, passou também a ser conhecida por Controle Clássico. Seu fundamento é: "medidas as variáveis de saída do processo a controlar e comparadas a seus valores de referência ("set-points"), estima-se valores a atuadores desse processo, localizados à entrada do mesmo, que conduzam as variáveis medidas à saída a atingirem seus valores de referência, ou pelo menos valores o mais próximo possível destes". Neste tipo de controle, a cada variável medida à saída do processo está associada uma e apenas uma variável manipulada à entrada do mesmo, formando o que se chama de uma malha de controle fechada, e para este caso específico chama-se malha do tipo SISO ("Single Input Single Output", isto é, uma entrada e uma saída). Em oposição a esta modalidade há o tipo de análise de malhas MIMO ("Multiple Input Multiple Output") que é bem mais complexo de ser resolvido, saindo do âmbito do Controle Clássico.

Há três tipos de leis que regem o algoritmo de cálculo para nortear o atuador, podendo tais leis participar juntas ou isoladamente (em termos teóricos) em qualquer malha fechada de controle. São elas as leis Proporcional, Integral e Derivativa.

#### 2.2.1.1. Lei Proporcional.

Nesta primeira lei a amplitude da correção é proporcional à amplitude do desvio (entende-se por desvio ou erro a diferença entre o valor ideal esperado pela variável - valor de referência - e o valor medido). Ao valor assim calculado adiciona-se o valor de saída para o atuador que este deve apresentar na circunstância particular em que o erro é nulo. Tal valor é chamado Valor de Saída em Regime Estacionário ("bias"). A constante de proporcionalidade do algoritmo em questão é dado o nome de Ganho, o qual se for muito alto, tendendo mesmo para o

infinito, e tendo uma Saída em Regime Estacionário igual a zero, tem-se um caso particular que é o caso mais simples em Controle Proporcional: Controle "ON/OFF" (LIGADO/DESLIGADO). Neste caso, qualquer erro detectado faz com que a válvula se feche ou se abra completamente, não sendo admitido posições intermediárias. O Controle Proporcional, mediante um distúrbio num processo ideal em regime permanente, leva a um novo equilíbrio cujo resultado à saída permanece constantemente distanciado do seu valor de referência, sendo tal valor denominado desvio-permanente ("off-set"), o qual será tanto menor quanto maior for o ganho do controlador, contudo este sempre existirá, ainda que seja uma evolução em relação ao processo estável em controle, que, se analisado nas mesmas condições, sempre atinge um novo equilíbrio de resposta ainda mais afastada do valor de referência (cabe aqui ressaltar que um processo estável sem controle pode ser representado pelo algoritmo da Lei Proporcional onde o ganho é 0 -zero- e portanto torna-se óbvio imaginar que o ganho de um controlador é sempre um valor maior do que 0 -zero- pois sendo igual ou menor do que este valor, o desvio-permanente passa a ser maior do que o do Processo Estável sem controle, o que torna injustificável o Sistema de Controle. Segundo Pereira - 1990 - Processo Estável é aquele que apresenta pelo menos um estado de equilíbrio, tendo-se neste caso uma estabilidade local. O sistema é instável se não atinge nunca um estado de equilíbrio. Se o sistema, como no caso citado, parte de um estado de equilíbrio para um novo estado também de equilíbrio, este é dito estável com mais de uma estabilidade local, contudo, se após perturbado retorna ao equilíbrio inicial, é dito que apresenta estabilidade assintótica global).

#### 2.2.1.2. Lei Integral.

Nesta segunda lei de Controle por Realimentação a velocidade da correção é proporcional à amplitude do desvio. Esta velocidade da correção é determinada através da integração do erro (desvio) ao longo do tempo. Como as leis de controle, conforme já dito, podem participar



conjuntamente do cálculo do valor final para o atuador, é colocado um fator multiplicador do valor da integral com o objetivo de se manipular a intensidade desta ação (integral) separadamente das demais ações de controle que eventualmente estejam participando do cálculo final do valor para o atuador referido. Ao inverso deste fator multiplicador é dado o nome de Constante de Tempo Integral ("reset-time") . Uma vez que esta lei envolva um somatório, ela tem uma característica importante porém perigosa por conferir inércia (capacitância) à tendência instantânea da ação de controle, permitindo, após um desvio, o retorno ao valor de referência, eliminando assim a possibilidade de desvio-permanente (pode-se agora perceber que o objetivo final é fazer com que o conjunto *Sistema de Controle - Processo* apresente estabilidade assintótica global). Certas circunstâncias que levam a um erro sustentado fazem o valor acumulado do somatório atingir níveis muito elevados, podendo levar uma válvula de controle a um de seus extremos (totalmente aberta ou totalmente fechada) assim permanecendo por um longo tempo e conferindo neste caso uma ação retardada ao Sistema de Controle, isto é, o Sistema de Controle passa a agir com muito atraso para reagir a novas variações, que geralmente acabam se intensificando devido a esta lentidão para a reação do atuador. A este fenômeno é dado o nome de saturação integral ("reset windup"). Isto posto, fica bem entendido por que a ação integral é dita importante porém perigosa, pois mesmo que esta alta inércia, esta alta capacitância do Sistema de Controle não leve à situação extremada de saturação integral, ainda assim verifica-se um problema menor que é bem característico desta lei: após um distúrbio, ocorrem muitas oscilações em torno do valor de referência, que o controlador, se bem sintonizado, ou seja, com um valor razoavelmente alto para a constante de tempo integral, leva-as (as oscilações) a gradativamente diminuírem, restabelecendo-se por fim novamente o valor de referência (cabe aqui complementar expondo-se que se o controlador estiver mal sintonizado, com um valor razoavelmente baixo para a constante de tempo

integral, o resultado desta ação ganha um peso elevado, podendo levar as oscilações em torno do valor de referência a gradativamente aumentarem até um valor que sai dos limites de controlabilidade, uma vez que os controladores são projetados para controlar variáveis dentro de um certo intervalo, conforme se verá mais a diante; fora deste intervalo o equipamento não é mais capaz de fazer a variável controlada retornar a seu valor de referência. Diante desta circunstância pode-se atingir os extremos físicos do Sistema de Controle, podendo-se chegar logo em seguida a consequências até mesmo catastróficas, como, por exemplo, uma explosão!).

#### 2.2.1.3. Lei Derivativa.

Nesta terceira lei de Controle por Realimentação a amplitude da correção é proporcional à velocidade do desvio. Esta velocidade do desvio é determinada pela sua derivada instantânea. Desta forma, quando a velocidade do desvio começa a se elevar muito por causa do retardo de ação originado pela lei integral, a ação derivativa entra como um fator compensador. Da mesma forma que a lei integral, a lei derivativa também apresenta um fator multiplicador que manipula a intensidade de sua ação independentemente das demais, sendo este fator chamado de constante de tempo derivativo ("rate-time"). Esta lei, da mesma forma que a lei integral, também exige cuidados em sua aplicação, aliás um único cuidado: a alimentação com sinais de entrada oriundos do processo deve ser o mais livre possível de ruídos, pois estes, sendo sempre de alta frequência, fornecem constantemente desvios pequenos porém de alta velocidade, e como nesta lei a amplitude da correção é proporcional justamente à velocidade do desvio, uma alta velocidade de subida, por exemplo, gera uma ação muito intensa num sentido, mas já no instante seguinte o ruído apresenta alta velocidade de descida, gerando logo em seguida uma ação muito intensa no sentido contrário, e desta forma ações muito intensas e de sentidos alternados vão sendo (em termos teóricos) seguidamente tomadas, gerando instabilidade ao

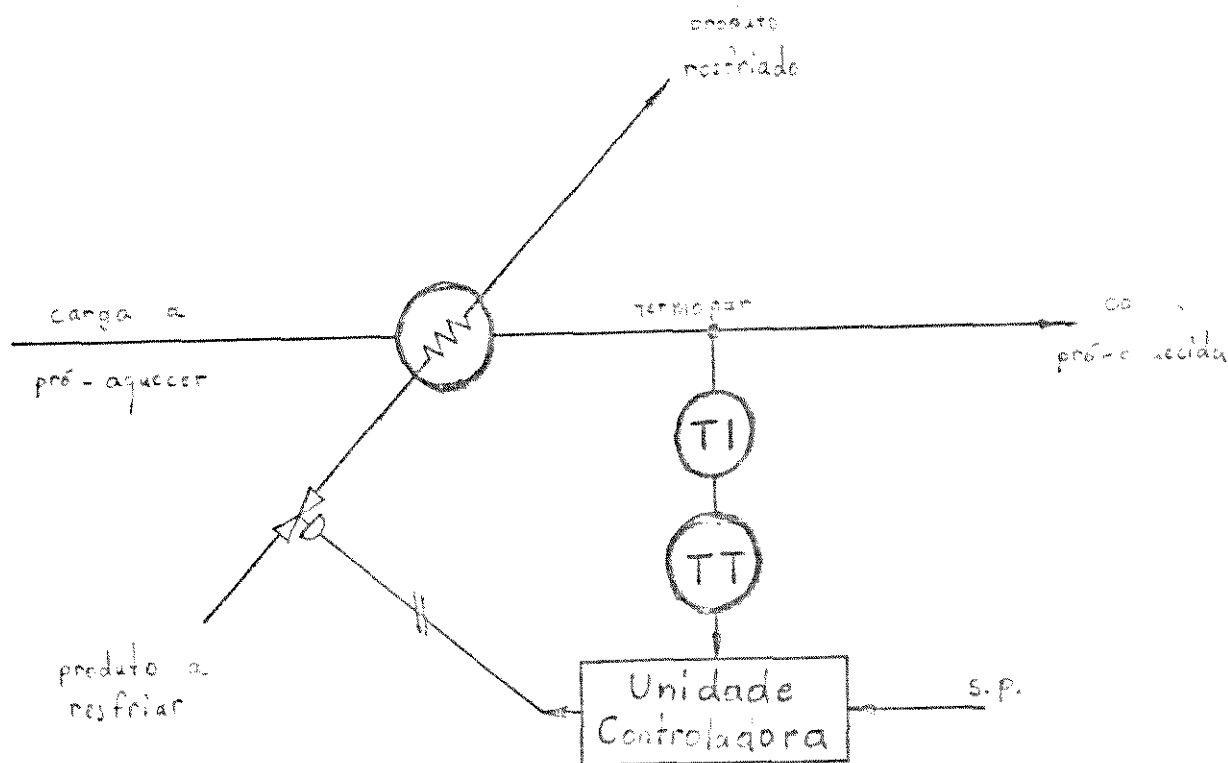
controle. Se faz necessária a utilização de filtros passa baixa (filtros que cortam frequências elevadas).

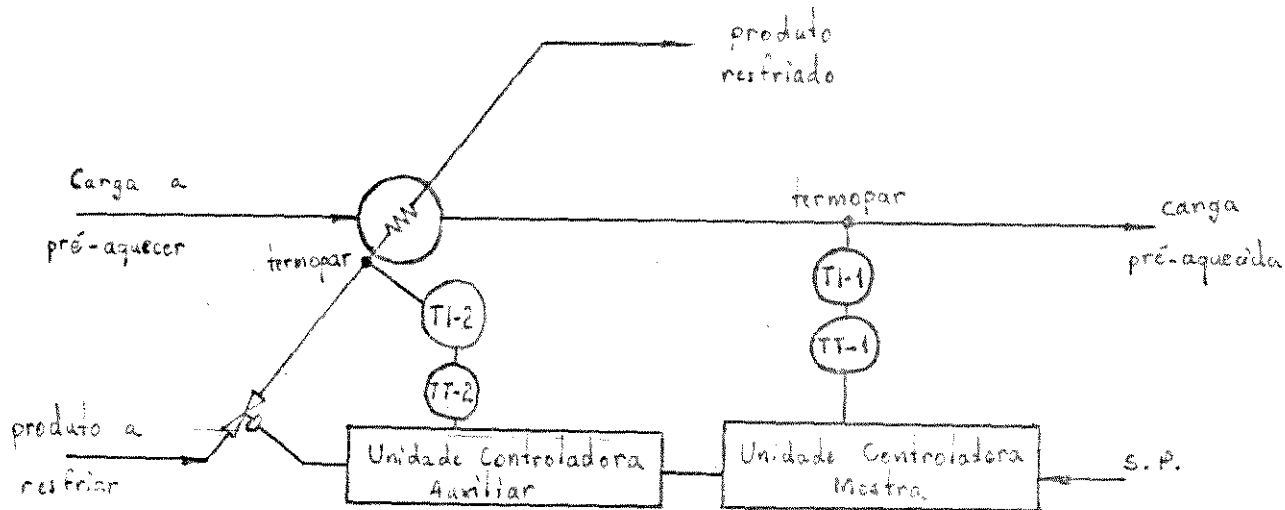
Resumidamente a 1ª lei (Proporcional) minimiza o desvio-permanente que ocorreria num sistema estável, porém sem controle; a 2ª lei (Integral) elimina o desvio-permanente, contudo confere oscilações demasiadas ao sistema; a 3ª e última lei (Derivativa) por fim minimiza tais oscilações.

### 2.2.2. Controle do tipo Cascata ("Cascade Control").

Este tipo de controle, também por realimentação, foge ligeiramente à idéia clássica, apresentando para duas variáveis medidas apenas uma manipulada, sendo ainda assim do tipo SISO. O processo a controlar fica dividido em duas malhas, sendo uma delas a malha-mestra e a outra a malha-escrava (ou malha-auxiliar) e tendo esta 2ª malha apenas variável medida. Ver a seguir o exemplo de um pré-aquecedor que utiliza uma corrente quente oriunda de outra parte do processo.

Controle por Realimentação Convencional:



Controle Cascata:

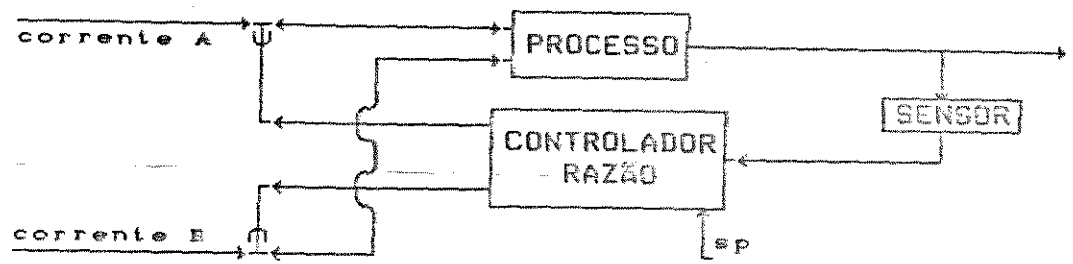
Percebe-se pelas figuras que a dinâmica da malha auxiliar é bem mais rápida do que a da malha principal, o que otimiza o Sistema de Controle, contudo o transmissor de temperatura da malha principal, TT-1, é realmente o grande responsável pela manutenção da temperatura da corrente no valor desejado. Em processos altamente capacitivos a diferença apresentada pelas duas figuras é substancial.

### 2.2.3. Controle Razão ou Controle Relação ("Ratio Control").

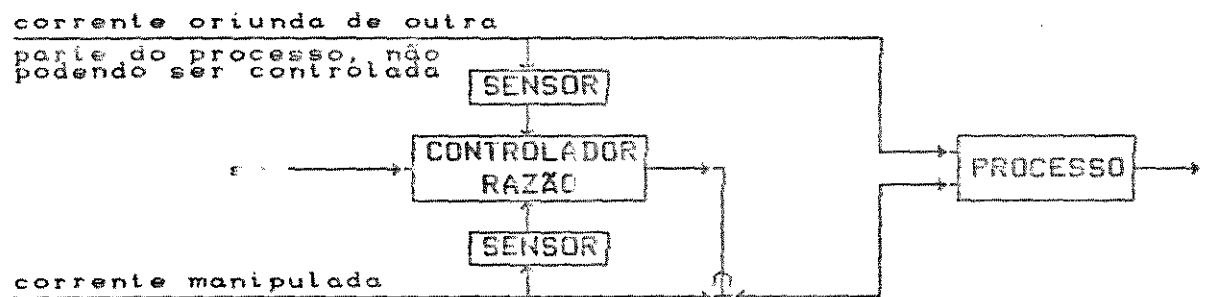
O Controle do tipo Razão pode apresentar para uma variável medida mais de uma variável manipulada, bem como um número de variáveis medidas que exceda em 1(um) o número de variáveis manipuladas.

O melhor exemplo que se pode dar para um controle do tipo razão, pois é bem próximo da vida cotidiana, é a carburação de um automóvel, cuja abertura para admissão de ar (entenda-se por ar = oxidante, uma vez que neste caso o oxigênio é o único componente importante) varia de forma proporcional à injeção de combustível para que, independentemente das vazões de ambos (combustível e oxidante), a razão de suas quantidades seja um valor constante não sendo alterado por se pisar mais ou menos intensamente o acelerador. O comando que muda neste mesmo exemplo tal razão é o afogador, o qual quanto mais acionado, mais aumenta a razão combustível:oxidante, tendo uma razão nova, porém constante para cada posição do afogador, a qual o acelerador não é

capaz de mudar. Tem-se neste caso uma variável medida (a mistura) e duas outras controladas (as vazões de combustível e de oxidante). Na figura a seguir tem-se um exemplo genérico (observe-se que poder-se-ia ter mais de duas correntes manipuladas à entrada do processo para apenas uma corrente medida à saída do mesmo).



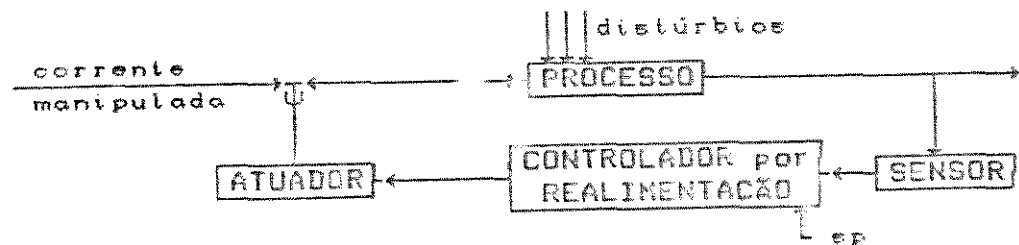
Outra forma de Controle do tipo Razão pode ser conforme a figura a seguir, onde se tem, como no Controle do tipo Cascata, duas variáveis medidas e apenas uma manipulada. Tal como no Controle do tipo Razão visto na figura anterior, este também poderia apresentar mais de duas variáveis medidas, porém neste caso ter-se-ia mais de uma variável manipulada, conservando-se sempre o número de variáveis medidas excedendo em 1 (um) o número de variáveis manipuladas.



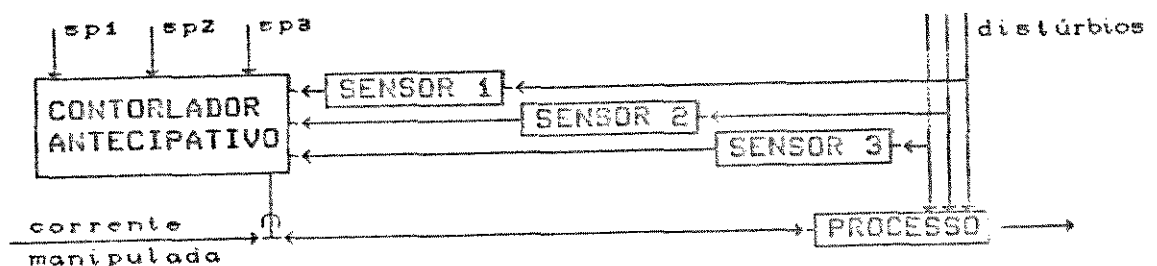
#### 2.2.4. Controle Antecipativo ("Feedforward Control").

O Controle Antecipativo visa promover as correções no processo antes que o mesmo opere de forma errada, e por esta razão a(s) variável(eis) medida(s) deixa(m) de ser sua(s) variável(eis) de saída, passando a ser variáveis medidas as correntes de entrada que são susceptíveis de sofrer distúrbios. Neste caso os desvios (erros) passam a ser calculados pela

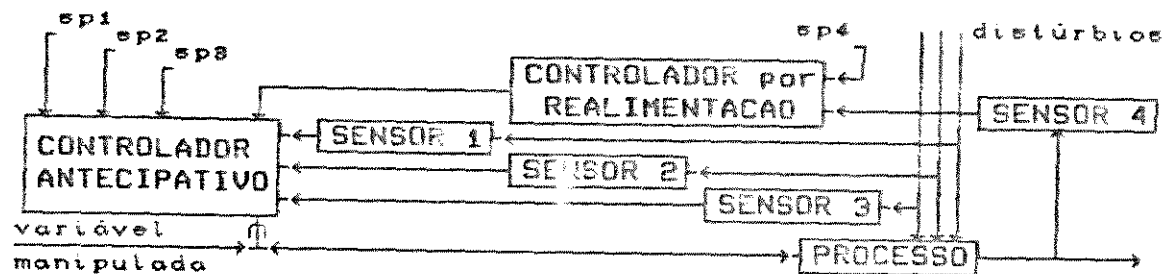
subtração dos valores medidos em relação aos valores de referência de tais variáveis de entrada susceptíveis de sofrer distúrbios. Este tipo de controle é geralmente (não necessariamente) MIMO. A aplicação desta filosofia de controle gera resultados muito melhores, contudo a modelagem do processo precisa ser feita com um rigor muito elevado, pois é preciso saber aquilatar muito bem de que forma e com que intensidade cada distúrbio pode influenciar no processo, bem como aquilatar com a mesma precisão a alteração na variável manipulada capaz de anular a influência desse distúrbio. Ainda hoje em dia são raros os processos tão aprofundadamente conhecidos a ponto de que tal filosofia de controle possa ser empregada com absoluta confiabilidade. Uma ação combinada de Controle Antecipativo com Controle por Realimentação é muitas vezes uma solução mais confiável, onde o Controle por Realimentação passa a funcionar como um artifício de teste da modelagem do processo, o qual, dependendo da sofisticação do Sistema de Controle, pode até promover as correções necessárias no modelo utilizado. As figuras a seguir ilustram cada caso.



Controle por Realimentação.



Controle Antecipativo.



Controles Antecipativo e por Realimentação combinados.

#### 2.2.5. Controle Adaptativo ("Adaptative Control").

Esta é uma modalidade de controle ainda mais sofisticada do que as anteriormente citadas, onde o sistema controlador é concebido para apresentar variações de seus parâmetros ao longo do tempo. Esta modalidade de controle é usual em unidades de processamento químico as quais apresentam modificações de operação ao longo de cada campanha (se o regime é contínuo) ou batelada (o exemplo mais comum para este tipo de processamento químico é o que ocorre num reator catalítico de leito fixo cuja atividade do catalisador decresce ao longo do tempo). Existem várias formas para se promover a variação dos parâmetros no tempo. Uma forma mais simples é tabelar valores dos parâmetros para vários intervalos de tempo ao longo da campanha ou batelada, contudo tais valores podem ser tabelados não em função do tempo, mas em função de uma ou mais variáveis relevantes para o processo. Além destas duas, existem outras formas para se promover a variação dos parâmetros, sendo talvez a mais sofisticada o Controle Auto-regulatório ("Self-tuning Control"), o qual se baseia numa simulação paralela, portanto dinâmica, do processo a controlar, onde tal simulação determina os valores de saída do referido processo muito antes de efetuarlos, gerando assim correções à entrada do mesmo (a simulação deve por isso ser rigorosa, ainda que reduzida). Além disso, este sistema está constantemente se atualizando a partir de pequenas perturbações que ele mesmo vai criando, resolvendo pela simulação e comparando com os valores de saída do processo. Caso haja eventuais diferenças entre a saída do processo e o que foi simulado, o sistema se auto-regula modificando os parâmetros das equações do modelo. Dessa regulação, que pode ser ou não auto-

determinada, se origina o nome *adaptativo*. Este sistema é sempre bastante complexo por exigir um conhecimento bem aprofundado do processo a controlar.

### 2.3. Sistema Especialista ("Expert System").

A atuação do computador com um Sistema Especialista tem por objetivo torná-lo um grande banco de dados a respeito de decisões sobre aspectos gerais, mas principalmente sobre os aspectos particulares da operação de uma Unidade de Processo. Neste caso o computador substitui a figura muito comum, principalmente em unidades de processo antigas, de operadores experientes pela prática tais como Chefes de Turno e Supervisores de Área. Assim, em conformidade com o anteriormente descrito, seu modo usual de operação é o "in-line".



### 3. EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÃO PARA CONTROLE.

### 3. Equipamentos e Instalação para Controle.

Os equipamentos para Controle de Processos podem ser mecânicos (pneumáticos ou hidráulicos) ou eletrônicos (analógicos ou digitais). Historicamente os mecânicos foram os primeiros a ser utilizados, sendo que os pneumáticos em larga escala, o que os tornou tradicionais.

O equipamento controlador pneumático operando recebe um sinal de pressão variável (sinal pneumático) oriundo do processo a controlar, decorrente de uma medição efetuada em algum ponto do processo. Além desta entrada de ar (necessariamente seco para não danificar o equipamento) de pressão variável, há também uma outra de pressão fixa, que é o ar de suprimento do sistema. Diante da entrada de ar de pressão variável, o equipamento é capaz de manipular o ar de suprimento do sistema (que apresenta pressão fixa), fornecendo uma pressão de ar variável à saída que é algum percentual dessa pressão de ar de suprimento. O sinal pneumático de saída destina-se ao processo, nele entrando de alguma forma e em algum outro ponto, objetivando corrigir ou minimizar qualquer eventual desvio verificado no sinal pneumático de entrada. A determinação do sinal de saída é calcada em alguma das modalidades de Controle Regulatório apresentadas no capítulo anterior. Um equipamento controlador eletrônico, seja analógico ou digital, opera de forma semelhante, gerando um sinal elétrico à saída em virtude de um outro sinal elétrico à entrada.

A normalização das vias de comunicação foi uma medida indispensável a partir de certo estágio de evolução do Controle de Processos, quando este ainda era totalmente analógico, para que equipamentos de fabricantes diferentes apresentassem compatibilidade operacional. As vias de comunicação pneumática e elétrica foram então normalizadas em faixas as quais têm geralmente, mas não necessariamente, o valor extremo inferior igual a 20% do valor extremo superior. Assim sendo, é mais comum se encontrar equipamentos pneumáticos que operam na faixa de 3 a 15 psig, entretanto é possível se encontrar também alguns que operam na faixa de 0 a 15 psig. A via de comunicação elétrica analógica pode se apresentar de duas formas distintas, consistindo a primeira delas de uma intensidade de corrente contínua constante e sua tensão variando entre 1000 e 5000 mV (ou às vezes entre 0 e

5000 mV) , e a segunda delas consistindo de uma tensão constante também de corrente contínua onde a intensidade desta varia entre 4 e 20 mA (ou às vezes entre 0 e 20 mA). Esta segunda opção , pela manutenção da tensão em um valor constante com variações de intensidade de corrente apresenta melhor desempenho, uma vez que não apresente os problemas de interferência comumente verificados na primeira opção , que são geradores de ruído , e que por isso , conforme já exposto , podem trazer problemas na utilização de lei derivativa no algoritmo de controle, conferindo instabilidade ao controlador.

Diante da normalização de sinais nas vias de comunicação, bem como nos controladores , estes sinais precisam ser devidamente acondicionados na origem . Englemann & Abraham (1984) citam o exemplo de um termopar ferro-constantan do tipo J pelo ANSI - American National Standards Institute - que fornece, para uma variação de 0 a 1000°C , uma variação de 0 a 58 mV , necessitando portanto de uma amplificação adequada para a faixa de 1000 a 5000 mV.

Além do acondicionamento de sinais , outro aspecto de menção importante é a utilização de transdutores de sinais . Estes equipamentos transformam um tipo de sinal em um outro tipo de sinal , possibilitando por exemplo a compatibilidade entre vias de comunicação elétrica e controladores pneumáticos convém ressaltar que mesmo com a utilização de modernos sistemas digitais de controle , o elemento final atuador no processo mais utilizado devido à grande confiabilidade que oferece é ainda hoje em dia a válvula pneumática).

A comunicação elétrica se faz à velocidade da luz , enquanto que a pneumática à velocidade do som, sendo que a condução pneumática apresenta restrições de distância, atingindo algo no máximo em torno de 300 metros , o que pode conferir um atraso de comunicação de até cerca de 10 segundos , o que em muitos casos, como, por exemplo , num controle de vazão , cujo tempo de resposta costuma ser algo em torno de 1 a 2 segundos, torna extremamente relevante a consideração da dinâmica da linha de transmissão na função de transferência da malha de controle (Por outro lado entre equipamentos mais antigos os mais confiáveis eram os pneumáticos, cuja tecnologia foi desenvolvida primeiro, sendo também os mais

robustos, isto é, mais maleáveis em controlar na prática processos não exatamente iguais ao modelo teórico imaginado na fase de projeto do Sistema de Controle).

Com o advento da introdução de equipamentos digitais de controle, tais critérios de condução analógica, até por questões de bom senso, permaneceram inalterados, e adotou-se sistematicamente a utilização de circuitos conversores A/D e D/A, respectivamente à entrada e à saída da unidade digital de controle, que operassem com sinais analógicos elétricos dentro das faixas citadas. Ainda sobre a condução de sinais em Sistemas Digitais de Controle cabe salientar que criou-se também uma nova modalidade de condução que é a condução digital dos dados. Neste caso os circuitos conversores A/D e D/A permanecem fisicamente localizados próximos respectivamente aos sensores e aos atuadores do processo, sendo feita uma transmissão digital por cabos elétricos ou de fibra ótica, apresentando esta última total imunidade a interferências ou induções. A arquitetura do sistema define as características de como a informação é processada. As duas formas usuais são as interfaces paralela e serial, sendo esta última mais comum nestes casos. Segundo Englemann & Abraham (1984), patamares de 0 e 48 V em corrente contínua são geralmente confiáveis para transmissão a muitos quilômetros (às vezes são usados outros intervalos menores como 0 e 24 V e 0 e 5 V também em corrente contínua; os mesmos autores citam que há também a possibilidade do uso de 280 V em corrente alternada), contudo a velocidade de transmissão e a precisão de conversão são aspectos críticos que devem ser mais minuciosamente avaliados em cada caso. A rede do Sistema de Controle, seja ele Analógico ou Digital, mas principalmente se for Digital (devido à maior sensibilidade), deve ser separada da rede de alimentação dos equipamentos industriais, tendo aterramento próprio, pois em caso contrário interferências e conseqüentemente ruídos são incorporados ao sinal de entrada e/ou de saída do controlador (convém lembrar que ruídos causam instabilidade no controlador de lei derivativa). Englemann & Abraham (1984) citam também a proteção dos circuitos do sistema por acoplamento ótico, como uma técnica de isolamento contra interferências de tensões externas bastante confiável. Além desta, citam o isolamento magnético e o isolamento por

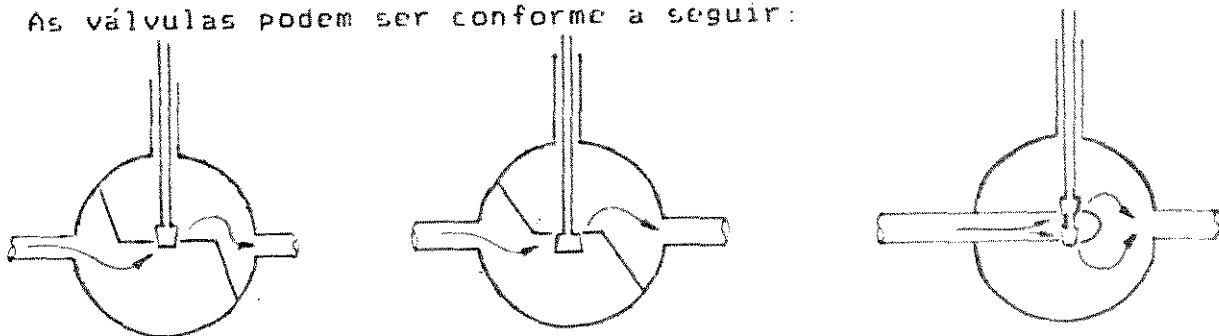
capacitor flutuante, sendo esta última técnica de baixo custo, porém antiga e de pouca durabilidade.

Os sensores podem ser pneumáticos, como, por exemplo, uma espiral de Bourdon que apresenta certa curvatura decorrente da pressão do mercúrio em seu interior, que por sua vez decorre de uma certa temperatura medida; podem ser eletro-mecânicos, como, por exemplo, um rotâmetro ou uma bóia potenciométricos; ou podem por fim ser elétricos como, por exemplo, um termopar. Em quaisquer casos o sinal do sensor sempre tem que ser devidamente acondicionado para a transmissão.

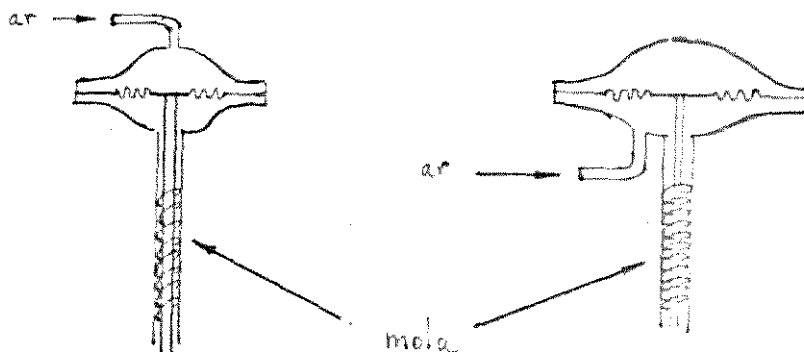
Os atuadores do processo podem ser, por exemplo, resistências elétricas para aquecimento variável de acordo com a potência de que lhe for decorrente, ou bombas centrífugas, ventiladores de refrigeração, torres de pratos rotativos, enfim equipamentos cuja rotação variável decorra da tração de um motor elétrico de corrente contínua. No entanto o mais comum é o emprego de Válvulas de Controle que, segundo Bassa (1989) têm basicamente acionamento de dois tipos: por pressão, sendo mais comum as pneumáticas, e por motores elétricos de corrente contínua (Raven, 1968).

As válvulas propriamente ditas são também segundo Bassa (1989) basicamente de dois tipos: válvulas de sede simples e válvulas de sede dupla, sendo o primeiro tipo mais vantajoso no aspecto de vedação, uma vez que quando a válvula está totalmente fechada deixa uma passagem residual menor, no entanto só são utilizáveis em escoamentos de baixa vazão, pois exigem pouco esforço do motor e da mola. O segundo tipo é mais vantajoso no que tange às exigências de esforço da parte superior onde se localiza o motor responsável pelo acionamento, no entanto deixa uma passagem residual maior.

As válvulas podem ser conforme a seguir:



O atuador pneumático pode ter a entrada de ar de comunicação por cima ou por baixo do diafragma. Ver as figuras a seguir.



Diante das posições da sede da válvula (anterior ou posterior ao orifício no sentido do escoamento) e das posições de admissão de ar em relação ao diafragma (pelo lado da haste ou pelo seu lado oposto), pode-se ter uma válvula do tipo ar-abre ou ar-fecha. O motor da válvula pneumática sempre impulsiona a haste no sentido contrário ao sentido impulsionado pela mola, sendo que esta última, seja tracionada ou tensionada, sempre impulsiona a haste da válvula para sua posição de segurança (totalmente aberta ou totalmente fechada), o que é necessário em uma falha séria do Sistema de Controle (por exemplo falha no sistema de ar-comprimado de suprimento).

No tocante a normalização de símbolos e identificação de instrumentação, Bega (1989) cita o PRINST11 - Procedimento Recomendado de INSTrumtação Nº 11 editado pelo IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo, sendo textualmente afirmado nesta norma ser a mesma baseada na Norma ISA-55.1 - revisão de 1984 (ISA - Instrument Society of America). É possível que exista também alguma NB sobre o tema (publicada pela ABNT).

#### 4. MÉTODOS DE CONTROLE INDUSTRIAL.

#### 4. Métodos de Controle Industrial.

O método inicialmente utilizado em Controle Regulatório foi o único conhecido de então, ou seja, o Método Analógico, o qual gerou equipamentos controladores historicamente consagrados, contudo o Controle Digital foi lenta e gradualmente tomando para si a tarefa de Controle Regulatório Industrial.

##### 4.1. Controle Analógico.

Foi o primeiro método de Controle de Processo, o qual tem por base a resolução das equações matemáticas que expressam o comportamento dinâmico do sistema a controlar através da técnica de Transformadas de Laplace, que é um método bastante usual na resolução de equações diferenciais lineares. Uma vez que geralmente as equações que expressam a dinâmica de um sistema sejam não-lineares, torna-se indispensável por isso a linearização destas em torno dos valores de operação, isto é, faz-se a substituição de certas equações não-lineares, mas que expressam (teoricamente) o comportamento de um certo processo em *quaisquer circunstâncias*, por outras equações lineares (de resolução mais fácil), que apresentam comportamento *idêntico* nos valores ideais de operação e *quase idêntico* em suas vizinhanças. Isto posto, fica claro entender que um sistema assim concebido só apresenta controlabilidade até as vizinhanças de seus valores de referência.

##### 4.2. Controle Digital.

Já concebido há razoavelmente bastante tempo, só num passado mais ou menos recente começou a ganhar espaço no cenário industrial e isto tem cada vez mais se intensificado. O Controle de Processos Industriais baseado em Sistemas Digitais não apresentou inicialmente confiabilidade em certos tipos de aplicação. Posterior e gradualmente esta foi sendo considerada uma etapa vencida. Dentre as áreas do conhecimento tecnológico em desenvolvimento nos tempos atuais, a que mais rapidamente tem se desenvolvido é sem sombra de dúvida a área de Ciência da Computação. Entre centenas ou até mesmo milhares de conseqüências deste fato, verifica-se a crescente introdução de unidades digitais de controle na indústria em substituição às já de longa



data consagradas unidades analógicas. O aparecimento dos microprocessadores, bem com a diminuição gradativa dos custos de produção industrial destes e dos demais "chips" que compõe unidades digitais inteiras (se comparado aos custos de produção de unidades controladoras eletrônicas analógicas, eletro-mecânicas ou pneumáticas) são fatores preponderantes na justificativa dessa tendência, contudo, tão relevante quanto estes fatos é o aspecto de que o Controle Digital, por apresentar uma estrutura muito mais maleável, possibilita múltiplas vantagens adicionais.

#### 4.2.1. Maleabilidade e Possibilidades.

O Controle Analógico, uma vez que concebido, é imutável no que concerne às suas características básicas, ficando as alterações possíveis reduzidas a meras modificações de valores de referência, de ganho e de constantes de tempo integral e de tempo derivativo. Qualquer mudança mais profunda no processo, tal como a entrada de novos equipamentos como torres ou reatores e/ou retirada de outros já existentes, implica na colocação de outros equipamentos controladores dimensionados para o novo processo que se estabelece. O Controle Digital, ao contrário, é facilmente adaptável à nova situação de controle que se estabelece, não havendo modificações físicas substanciais, mas tão somente ou pelo menos praticamente modificações de "software".

Os controladores digitais, quando instalados para exercerem Controle por Realimentação utilizam os mesmos algoritmos que proporcionam as leis de controle P, I e D. No Controle Analógico torna-se mais caro o equipamento se for PI, PD ou PID. Desta forma, em Sistemas com Controle Analógico, o equipamento controlador habilitado para controle PID somente é utilizado em circunstâncias nas quais tal modalidade se faça absolutamente necessária. Os controladores digitais têm o mesmo preço independentemente da lei de controle exigível, e esta pode até constituir um sistema bem simples como o de Controle "ON/OFF". Além disso, sistemas de controle mais sofisticados como os já citados Controle Cascata, Controle Razão e Controle Antecipativo são mais facilmente implementáveis por Controle

Digital, sendo que em alguns casos, como o Controle Adaptativo, o Controle Digital se faz quase que absolutamente indispensável. O controle multivariável (MIMO) é outra forma sofisticada somente solucionável via computadores digitais. No caso de um DDC pode-se inclusive fazer uma planificação da produção com bastante antecedência, cabendo muitas vezes única e exclusivamente ao computador efetuar no instante exato as modificações necessárias para uma mudança de produção previamente planejada.

O Controle Digital, no tocante ao dia-a-dia de operação da unidade industrial diante da continuidade de equipes que se revezam em turnos, pode uniformizar mais a operação da mesma e conseqüentemente as características dos produtos finais dela oriundos ao longo do tempo, haja visto que este Controle Digital pode minimizar as variações entre estes turnos decorrentes das características inerentes da forma de trabalho de cada operador.

O Controle Digital sem nenhuma dúvida otimiza os objetivos usuais do Controle de Processos, a saber:

- maximizar a qualidade;
- maximizar a quantidade;
- minimizar os custos;
- maximizar a segurança operacional;
- minimizar a agressão ambiental.

#### 4.2.2. Base Matemática e Capacidade de Cálculos.

De forma semelhante ao Controle Analógico, o Controle Digital também tem por base a resolução de equações que expressam o comportamento dinâmico do sistema a controlar, todavia a técnica utilizada é a de Transformadas z, que foi desenvolvida para sistemas por amostragem discreta (Pereira, 1991; Raven, 1968; Seaborg, Edgar & Mellichamp, 1989; Mosler, Koppel & Coughanowr, 1966; e Dahlin, 1968). Sobre a capacidade e a velocidade em efetuar cálculos, os sistemas digitais de um modo geral superam tremendamente os analógicos, seja em cálculos estatísticos ou nos cálculos de algoritmos de controle, que envolvem um grande número de operações matemáticas para cada malha controlada, até mesmo quando se

trata de um PID. Segundo Englemann & Abraham (1984), o Controle Analógico eletrônico só chega a apresentar vantagem substancial de velocidade em relação ao Controle Digital na condição especial de se terem equacionamentos muito simples a serem resolvidos, mesmo assim normalmente com menor precisão. Além de melhor desempenho na execução de cálculos complexos, Wyss (1984) justifica que o Controle Digital apresenta maior estabilidade na manipulação de sinais. Uma vez que um sinal seja lido e convertido, sendo assim *digitalizado*, o sistema pode mantê-lo e manipulá-lo sem qualquer perda de precisão. Em circuitos analógicos é extremamente difícil se manter o erro dentro de uma ordem de grandeza de até 0.1%. Este autor acrescenta por fim que a utilização de circuitos analógicos é ainda mais comprometedora nas circunstâncias que requerem o acúmulo de informações por períodos longos, uma vez que sejam utilizados capacitores como elemento de estoque, os quais apresentam estreitas limitações operacionais de tempo para manutenção de valores precisos.

#### 4.2.3. Conversões A/D e D/A: Precisão, Velocidade e Custo.

A precisão de conversão, isto é, o nível de resolução desejado na conversão A/D, bem como na D/A, é um aspecto importante ao qual estão também associados custo e frequência de amostragem, conforme já citado. Segundo Wyss (1984) e Isaak (1984), a conversão mais comum no uso industrial é a de 12 bits, porém as conversões de 10 e de 14 bits são também muitas vezes empregadas. Os conversores de 8 bits são de baixo custo, simples e de alta velocidade, mas dificilmente atendem às exigências industriais. Os conversores de 16 bits são de custo elevado, lentos e extremamente sensíveis, não sendo nunca usados em Sistemas de Controle Industrial. Conversões de 10, 12 e 14 bits apresentam precisão que atendem bem às exigências mais sofisticadas. Vale aqui lembrar que tais conversores dividem uma variação analógica respectivamente em...

$$2^{10} = 1\ 024 ;$$

$$2^{12} = 4\ 096 ;$$

$$2^{14} = 16\ 384 ;$$

...1024, 4096 e 16384 partes, o que significa que para uma variação de 0 a 5000 mV, por exemplo, tais sistemas apresentam sensibilidade para detectar variações de respectivamente...

$$\frac{5\,000 - 0}{1\,024} \approx 4.88 \text{ mV} ; \frac{100}{1\,024} \approx 0.097\,656\% \approx 0.1\%$$

$$\frac{5\,000 - 0}{4\,096} \approx 1.22 \text{ mV} ; \frac{100}{4\,096} \approx 0.024\,414\% \approx 0.025\%$$

$$\frac{5\,000 - 0}{16\,384} \approx 0.31 \text{ mV} ; \frac{100}{16\,384} \approx 0.006\,104\% \approx 0.006\%$$

...4.88 mV, 1.22 mV e 0.31 mV, apresentando portanto erros da ordem de 0.1%, 0.025% e 0.006%, que são valores perfeitamente compatíveis com as precisões que os instrumentos de uso industrial apresentam, mesmo os mais sofisticados, que somente são empregados em situações bastante especiais.

#### 4.2.4. Conversões A/D e D/A: Compatibilidade e Linguagens.

A pequena área endereçável de memória RAM (64 kb) que os microprocessadores de 8 bits apresentavam (Brito, 1990) dificultava bastante a realização de trabalhos envolvendo conversão A/D, porém com o surgimento de microprocessadores de 16 bits essa tarefa ficou bastante facilitada, não só pelo fato intrínseco de uma maior área de memória dar mais liberdade ao programador, bem como também pelo fato de que essa maior área de memória permitiu o uso de placas conversoras com melhor resolução (Wyss, 1984 e Isaak, 1984).

Existem comercialmente muitas placas de interface para conversão A/D e D/A de comunicação paralela compatíveis aos microcomputadores pessoais existentes no mercado. Para a linha IBM-PC e seus clones, por exemplo, há uma infinidade delas. Sobre a compatibilidade referida, entenda-se compatibilidade elétrica, isto é, compatibilidade com a estrutura de comunicação externa definida pela arquitetura do microprocessador, bem como a compatibilidade mecânica, atendendo

à parte de encaixes, contatos, ligações e, por fim, às dimensões do gabinete utilizado para abrigar os circuitos do microcomputador. Englemann & Abraham (1984) definem que o "software" desenvolvido funciona basicamente como um bloco de alocações de memória ou como portas de E/S. A comunicação dos dispositivos de memória mapeada com o computador necessita, segundo os mesmos autores, de um endereço-base (ver a tabela a seguir), do número de alocações a seguir, da função de cada alocação, do formato dos dados e da frequência de operação. Uma placa típica de entradas analógicas projetada para uma estrutura de comunicação compatível afirmam os mesmos (autores) ocupar um total de 16 bytes de memória. Explicam estes autores por fim que a alocação desse espaço de memória deve incluir um registrador multiplexador de canais usado para definir a todo instante qual o canal medido, um comando registrador usado para iniciar uma conversão A/D, um registrador de estado contendo o estado do conversor A/D e um registrador de dados que contém o valor de entrada analógica em seu formato digital. A tabela a seguir é um exemplo da área de endereços de E/S, que no caso é do mapeamento do PC-XI (Brito, 1990).

Endereço de E/S	Uso no PC
00-0Fh	controlador do DMA (8237)
10-1Fh	utilizado pela placa principal
20-2Fh	controlador de interrupção 8259
30-3Fh	não documentado
40-5Fh	temporizador ("timer") 8253
60-6Fh	porta paralela PPI 8255
70-7Fh	não documentado
80-9Fh	registrador de página do DMA
A0-AFh	registrador de máscara da NMI
B0-1FFh	não documentado ou reservado
200-20Fh	adaptador de jogos
210-21Fh	unidades de expansão

continua na próxima folha

Endereço de E/S	Uso no PC
220-26Fh	reservado ou não documentado
270-27Fh	porta paralela de impressora 2
280-2EFh	reservado ou não documentado
2F0-2FFh	porta serial 2
300-31Fh	placa de protótipo (livre para uso)
320-32Fh	adaptador de disco rígido
330-36Fh	não documentado
370-37Fh	impressora paralela principal
380-3AFh	não documentado ou reservado
3B0-3BFh	placa de monitor monocromático MDA
3C0-3CFh	placa de vídeo EGA
3D0-3DFh	placa de vídeo CGA
3E0-3EFh	reservado
3F0-3FFh	disco flexível e porta serial principal (3F8H)

O "software" é responsável pelo gerenciamento das leituras quando realizadas em "polling", que, segundo Brito (1990) é o método onde a ação de leitura está subordinada às determinações do computador através do seu programa que opera em tempo real (Sistemas de Controle Supervisório ou Regulatório sempre funcionam assim); o outro método existente é por interrupção, onde, segundo o mesmo autor, a ação de leitura passa a ser subordinada a equipamentos externos ao computador, os quais apresentam maiores prioridades em relação ao programa eventualmente em execução no instante em que algum dos equipamentos externos envia um sinal a ser lido pelo computador (Sistemas de segurança para prevenção contra incêndios, por exemplo, podem funcionar assim, onde o computador pode ser utilizado a maior parte do tempo em execuções de menor prioridade).

Para se trabalhar com aquisição de dados não é no entanto geralmente necessário o conhecimento de programação em linguagem de máquina para se ter acesso aos endereços da placa

de interface, pois relatam Englemann & Abraham (1984) que é comum que essas placas disponíveis no mercado, quando adquiridas, sejam acompanhadas de manuais e/ou discos contendo todas as explicações necessárias para sua instalação e uso, programas de teste de instalação e funções em linguagem de nível mais alto (BASIC, FORTRAN, C, Pascal, etc.) para o usuário, ao criar seus próprios programas, utilizar as funções referidas como ferramentas de acesso à placa. Usuários mais aprofundados no assunto podem eventualmente dispensar tais funções e escrever seus próprios programas em linguagem de máquina, acessando diretamente todos os endereços da placa de interface.

Não existe, segundo Englemann & Abraham (1984) e Pereira (1991) uma linguagem específica ou pelo menos mais apropriada para aquisição de dados, todavia linguagens compiladas são sem nenhuma dúvida preferíveis em detrimento das interpretadas; da mesma forma, quanto mais baixo o nível da linguagem, mais rápida e conseqüentemente mais eficiente será a execução de operações (operações de tela, por exemplo, muitas vezes devem até ser executadas em linguagem de máquina, pois são geralmente operações suficientemente lentas para os compiladores normais, contudo esta necessidade deve ser corretamente avaliada, haja visto que por vezes certas placas controladoras de monitor de vídeo mais modernas têm "buffers" suficientemente grandes para agilizar tais operações, compensando de certa forma esta deficiência dos compiladores).

#### 4.2.5. Sistemas Distribuídos de Controle.

Os computadores pessoais usados como gerenciadores de sistemas distribuídos de controle ligados por comunicação serial são largamente usados com vários tipos de configuração. Cada ponto é uma malha fechada. O Computador Central coleta as médias e as informações básicas sumárias de cada malha e carrega novos valores de referência, limites de alarme ou novos parâmetros (programas, critérios de atuação,  $\tau_i$ ,  $\tau_d$ , etc.) para cada malha (Englemann & Abraham, 1984). Uma vez que a Unidade Central falhe, cada Unidade Controladora é capaz de continuar operando com o último valor de referência enviado

antes da falha, passando a funcionar como um PID. O único grande inconveniente nestes casos é que durante o intervalo de tempo em que a Unidade Central permanece fora de operação, os operadores da Sala de Controle ficam sem saber os valores em cada ponto controlado, exceto se forem verificá-los diretamente na área. A redundância da Unidade Central é a única forma de se assegurar que tal problema não ocorra, contudo essa redundância pode ser efetuada posteriormente à implantação do sistema (Dartt, 1982). Talvez a maior vantagem dos Sistemas Distribuídos de Controle seja justamente o fato de que podem ser implantados de uma forma diminuta, efetuando controle e gerenciamento em áreas consideradas prioritárias, e posteriormente sucessivas ampliações podem ser feitas com extrema facilidade. Um IBM-PC-AT, por exemplo, se for dotado de um sistema operacional mais poderoso do que o MS-DOS, tal como o UNIX ou o OS/2, fica habilitado para execuções multi-tarefas ("multi-task"), e dessa forma pode ser utilizado como uma Unidade Central de um Sistema Distribuído, contudo hoje em dia outros microcomputadores se apresentam como fortes concorrentes neste mercado, como, por exemplo, o Macintosh.

Grandes Sistemas Distribuídos implicam em "software" próprio (configurado para a planta), são caros, complexos e exigem teclados e telas dedicados. Tais sistemas são capazes de controlar até centenas de pontos. Os "modems" via rádio ou telefone podem prover um controle serial a longas distâncias da Unidade Central. São usualmente empregados em aplicações tais como monitoramento de gasodutos, subestações de força e Unidades de Processamento Químico (de qualquer porte).

As unidades controladoras utilizadas hoje em dia são normalmente CLP's de filosofia mais moderna (mais inteligentes), com um nível de sofisticação bem superior, conforme visto em "2.1.1.3. Supervisão de Equipamentos - CLP". Algumas dessas unidades controladoras utilizam microprocessadores de 8 bits, como é o caso do INTEL-8031, contudo outras chegam mesmo a usar microprocessadores de 16 bits, como o 68000.



## 5. O SISTEMA COMPUTACIONAL DE SUPERVISÃO.

## 5. O Sistema Computacional de Supervisão.

Sistemas Distribuídos de Controle têm sido largamente utilizados na Indústria Química, conforme visto no item 4.2.5.. Estes sistemas apresentam geralmente alto grau de complexidade, utilizam programação desenvolvida para a própria indústria usuária, e são compostos de muitos equipamentos interligados, onde em a última característica é a que justifica chamar tais sistemas de distribuídos, e além disso oferecem duas vantagens interessantes:

1ª) cada equipamento tem uma parcela de responsabilidade pequena no desempenho final do conjunto, o que justifica que muitos deles não necessitem de redundância, levando a uma diminuição de custos;

2ª) a implantação inicial do sistema pode ser parcial, controlando apenas as partes do processo consideradas críticas, sendo ampliações futuras deste tipo de sistema perfeitamente viáveis e de fácil execução, levando a uma diminuição de custos iniciais.

A estrutura dos Sistemas Distribuídos de Controle, conforme foi visto, é composta basicamente por um Computador Central que exerce Controle Supervisório por toda a Unidade de Processo Industrial, e por Unidades Inteligentes responsáveis cada uma por uma ou algumas malhas de Controle Regulatório. O desenvolvimento do presente trabalho teve por objetivo inicial o Controle Supervisório, ocorre porém que este tipo de controle é efetuado nos Sistemas Distribuídos de tal forma que o Computador Central, através de um único canal, utilizando via de dados digital serial, efetua leituras dos valores das Unidades Controladoras, associando os dados lidos a uma respectiva unidade através do contador de um "loop" (laço), onde esse contador, ao atingir o número referente à última Unidade Controladora, automaticamente volta ao início da contagem na vez seguinte em que executar esse "loop". As ferramentas necessárias para a execução dessa tarefa são um micro ou minicomputador dotado de uma interface de comunicação serial e equipamentos controladores que apresentem compatibilidade com o equipamento central. Se, ao invés de comunicação digital serial, a Unidade Central está habilitada a efetuar comunicação externa analógica, as Unidades Controladoras periféricas podem ser canceladas e a Unidade Central passa a atuar como um UDC de pequeno porte, efetuando leituras de sinais analógicos, bem como também

exteriorizando sinais analógicos. O sistema de supervisão criado foi concebido nestas bases, ou seja, um microcomputador dotado de uma placa multiplexadora de 8 (oito) canais com entradas e saídas analógicas e digitais comunica-se diretamente com variáveis físicas de uma Unidade de Processo Químico. A utilização das saídas analógicas possibilita também promover um controle regulatório de até 8 (oito) malhas fechadas do tipo SISO. De uma forma sintética o trabalho:

1º) efetua leitura analógica de dados em até 8 canais por conversão A/D e exibição em tela sempre do último valor lido em cada um dos canais;

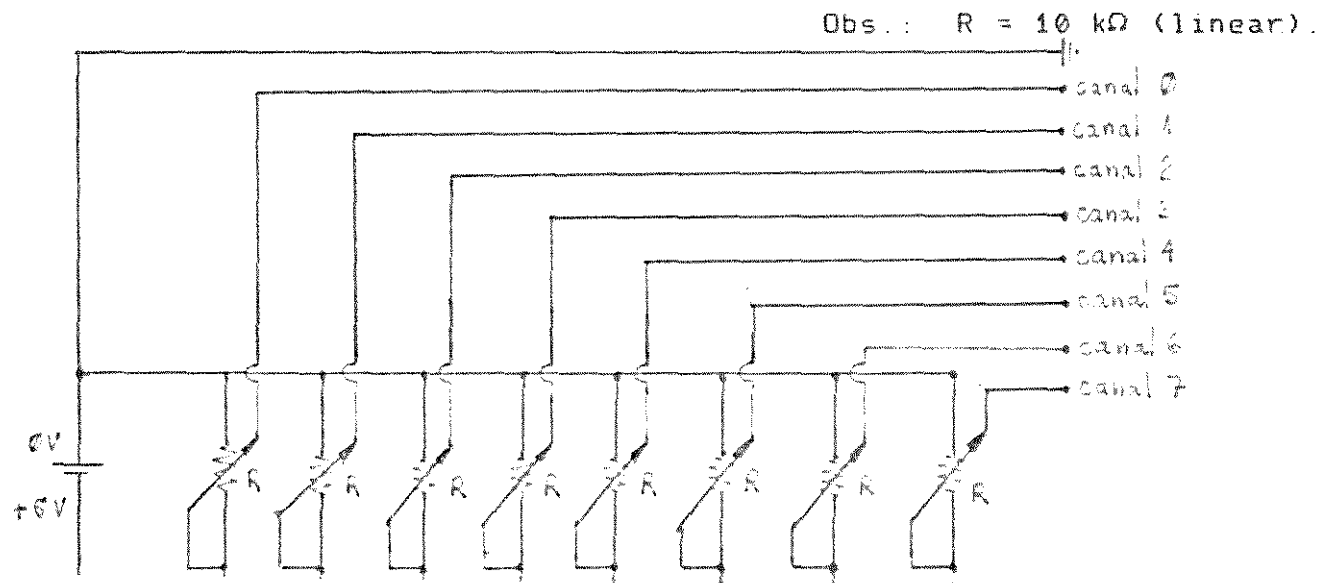
2º) pode gerar sinais analógicos de saída a atuadores por conversão D/A, podendo estes ser determinados em modo automático por algoritmos PID, ou em modo manual - servo controle - por livre arbítrio do usuário;

3º) trata estatisticamente os dados lidos e os acondiciona em matrizes na RAM (memória de acesso aleatório), bem como em arquivos em unidade de memória magnética;

4º) exibe sob forma de tabela os valores lidos (ou médias) de qualquer um dos pontos supervisionados ao longo do tempo;

5º) pode emitir sinais de alarme em situações críticas.

A injeção de sinais de tensão variável no intervalo contínuo de 0 a 5000 mV para teste da entrada analógica multiplexada em 8 canais foi efetuada através do circuito a seguir (cada um dos potenciômetros ajusta a tensão desejável ao seu canal dentro do intervalo contínuo citado).



Para a medição dos sinais da placa voltagem regulada, em cada canal foi utilizado um voltímetro digital com precisão de três casas decimais (no item a seguir serão abordadas as configurações de operação que a placa pode apresentar, contudo deve-se de antemão esclarecer que a mesma foi configurada de forma a operar com a faixa de 0 a 5 volts em todos os canais tanto à entrada, quanto à saída analógicas).

### 5.1. O IBM-PC.

Segundo Englemann & Abraham (1984), todos os microprocessadores, microcomputadores, minicomputadores e os computadores de grande porte têm uma ou mais vias de estruturas paralelas de comunicação que interligam processador, memória RAM, "buffers", dispositivos de E/S, memória de disco rígido, memória de disco flexível, monitor de vídeo, teclado, etc.. O microprocessador 8088 da INTEL usado no IBM-PC-XL, por exemplo, utiliza duas dessas estruturas de comunicação, sendo uma interna de 16 bits (sendo por isso dito um microprocessador de 16 bits) e outra externa de 8 bits. Os microcomputadores sucessores deste, os PC-AT's, apresentam progressivamente aumento do número de bits destas estruturas de comunicação interna e externa (Brito, 1990). Não só o número de bits das estruturas de comunicação interna e externa, mas também a frequência de operação do microprocessador, usualmente chamado de "clock" do microprocessador são os fatores determinantes da velocidade de operação do equipamento. Os microprocessadores mais modernos também apresentam "clocks" cada vez maiores em relação a seus antecessores.

Os computadores da linha IBM-PC apresentam basicamente as seguintes partes:

- placa-mãe;
- fonte;
- teclado;
- placa controladora de monitor de vídeo;
- monitor de vídeo;
- placa multi-I/O;
- unidade de memória de discos flexíveis;
- unidade de memória de disco rígido;
- placa controladora da unidade de disco rígido.

A placa-mãe é a principal parte do circuito, onde ficam localizados entre outros o microprocessador, o co-processador aritmético (pode ter ou não), os CI's (Circuitos Integrados) de memória RAM e o CI temporizador (dita o "clock" de operação).

O microprocessador é o principal componente do microcomputador; é o componente que o caracteriza. O quadro a seguir dá as principais características de cada um.

micro- processador	vias de comunic.		RAM	sistema operacional	clock (Mhz)	co-proc -aritm
	interna	externa				
8086	16 bits	16 bits	640 kb 1 Mb	MS-DOS	4.77 12	8087
8088	16 bits	8 bits	640 kb 1 Mb	MS-DOS	4.77 12	8087
80286	24 bits	16 bits	1 Mb 16 Mb	MS-DOS Unix OS/2	12 16	80287
80386	32 bits	32 bits	até 4 Gb	MS-DOS Unix OS/2	12 40	80387
80486	semelhante ao 80386, porém com arquitetura mais moderna e co-processador aritmético embutido.					

- Obs.: 1. Qualquer microcomputador com MS-DOS só processa palavras de 16 bits.  
2. O Windows exige pelo menos 4 Mb de RAM.

Outra parte importante da placa-mãe é onde se localizam os "slots". Os contatos dos "slots" dão acesso a toda a pinagem do microprocessador e dessa forma o usuário conta sempre com 5 (cinco) "slots" disponíveis para aplicações outras que não as mais usuais, pois 3 (três) "slots" (no total são 8) são normalmente utilizados pelo cache e ~~independível~~, ou seja, um "slot" é utilizado pela placa controladora do monitor de vídeo,

rígido e um terceiro pela placa multi-I/O. Sobre as outras aplicações não usuais referidas, há uma infinidade de placas de interface para diversas outras operações que não as costumeiras de processamento de dados. Neste trabalho, por exemplo, uma quarta placa além das três já citadas foi instalada, sendo esta justamente a placa de conversão A/D e D/A.

## 5.2. A Placa TAURUS ADA

A placa TAURUS ADA apresenta total compatibilidade com os microcomputadores da linha IBM-PC. Ela é dotada de um multiplexador de 8 canais, um conversor A/D, um conversor D/A, 8 entradas e 8 saídas digitais. Juntamente com a placa é fornecido pelo fabricante um programa (em disco flexível) de testes para a verificação sobre a correta instalação da mesma, bem como um manual descritivo onde consta entre outros uma listagem de funções em linguagem C para se ter acesso às entradas e saídas analógicas e digitais.

Quase todas as características de configuração de operação da placa são manipuláveis apenas por "hardware" através de ligações por estrapes, excetuando-se apenas algumas características de operação do conversor A/D.

O endereço-base de E/S, segundo o manual, pode ser qualquer um entre 200h e 3FFh, sendo feita a seleção a partir da configuração de posição de 5 estrapes. O endereço-base escolhido foi 220h, que é o mesmo no qual são realizados os testes de instalação.

### 5.2.1. Entradas Analógicas.

A conversão A/D é das 4 formas de comunicação com o exterior citadas a que mais recursos oferece ao usuário. Sua precisão é de 12 bits, ou seja, o valor analógico lido é convertido em um número maior ou igual a 0 (zero) e menor ou igual a 4095. Pode-se por "hardware" optar por:

- operação por "pooling" ou por interrupção,
- valor mínimo da faixa de valores analógicos igual a 0 (zero) ou 20% do valor máximo, isto é, (utilizando a nomenclatura do fabricante) "off-set" igual a 0 ou 20%;

- leituras em variação de tensão ou de intensidade de corrente (neste último caso o máximo é sempre 20 mA, podendo o mínimo ser 0 ou 4 mA);
- sendo feitas leituras em variação de tensão e o "off-set" igual a zero, a faixa de operação pode ser 5 ou 10 volts;
- sendo feitas leituras em variação de tensão e o "off-set" igual a zero, operar de forma BIPOLAR (de -2.5 a +2.5 v ou de -5.0 a +5.0 v, dependendo da faixa de operação escolhida no último item) ou UNIPOLAR (de 0 a 5 v ou de 0 a 10 v).

Escolhendo-se por "hardware":

- operação por "hardware";
- "off-set" igual a zero;
- leituras em variação de tensão;
- faixa de operação de 5 volts;

pode-se por "software" escolher 4 faixas de operação:

- de 0 a 5 v;
- de 1 a 5 v;
- de 0 a 4 v;
- de -2.5 a +2.5 v.

Toda a parte da placa configurada por "hardware" funcionam igualmente para os 8 canais, porém a parte configurada por "software" pode funcionar de forma distinta para cada canal.

A função "modo\_oper (n)" é a responsável pela escolha de uma dentre as 4 faixas de operação apresentadas configuráveis por "software", onde seu argumento, n, pode variar respectivamente entre 0 e 3.

A função "adj\_offset ()" é a responsável pela calibração do conversor A/D em cada faixa de operação definida, sendo que esta retorna um valor que deve ser usado como argumento pela função de entrada analógica. Uma vez que se tenha limitado a operar tanto à entrada quanto à saída analógicas com a faixa fixa de 0 a 5 v, a função "modo\_oper (n)" não foi utilizada, bem como a função "adj\_offset ()" só foi utilizada uma vez no início do programa de supervisão em tempo real (SUPER, conforme se verá mais a diante), antes do mesmo operar em tempo real, o que é conveniente, pois esta função exige um certo tempo de

espera durante a calibração, só devendo ser executada em tempo real caso haja necessidade, e esta só existe no caso em que os canais operam em faixas diferentes.

A função "read\_anl ( canal, off\_set )" é a responsável pelas leituras analógicas. Seu primeiro argumento, canal, pode variar entre 0 e 7 para definir em qual dos 8 canais se deseja efetuar a leitura; seu segundo argumento, off-set, é o valor de retorno da função "adj\_offset()", conforme exposto.

Uma vez que a leitura de um valor analógico necessite de um tempo para estabilização, além das funções já citadas, a operação de conversão A/D envolve ainda a função "wait\_eoc()", a qual não necessita ser chamada pelo programa principal, sendo chamada apenas pela função de leitura analógica. Seu objetivo único é criar esse tempo de espera para estabilização (é interessante observar que para uma conversão A/D de 10 bits, esse tempo de espera é algo perto de 12 vezes menor, o que indica o quanto mais sensível e lenta é uma conversão de 12 bits em relação a uma de 10 bits).

### 5.2.2. Saídas Analógicas.

A conversão D/A é bem menos flexível do que a A/D. Sua precisão é de 10 bits, ou seja, um valor entre 0 (zero) e 1023 é convertido a um sinal analógico. Pode-se por "hardware" optar por:

- "off-set" igual a 0 ou 20%;
- os canais 0 e 1, em particular, operar em variação de tensão ou de intensidade de corrente (os canais 2 a 7 só operam em variação de tensão).

Os valores máximos de saída de tensão e de intensidade de corrente são respectivamente 5 v e 20 mA, portanto as faixas possíveis de operação são de 0 a 5 ou de 1 a 5 v e de 0 a 20 ou de 4 a 20 mA. A função "write\_anl(dado, canal)" é a responsável pelas saídas analógicas. Seu primeiro argumento, dado, é o valor entre 0 e 1023 a ser analogicamente convertido; seu segundo argumento, canal, da mesma forma que na função de leitura analógica pode variar entre 0 e 7 para definir em qual dos 8 canais se deseja a saída do sinal analógico.

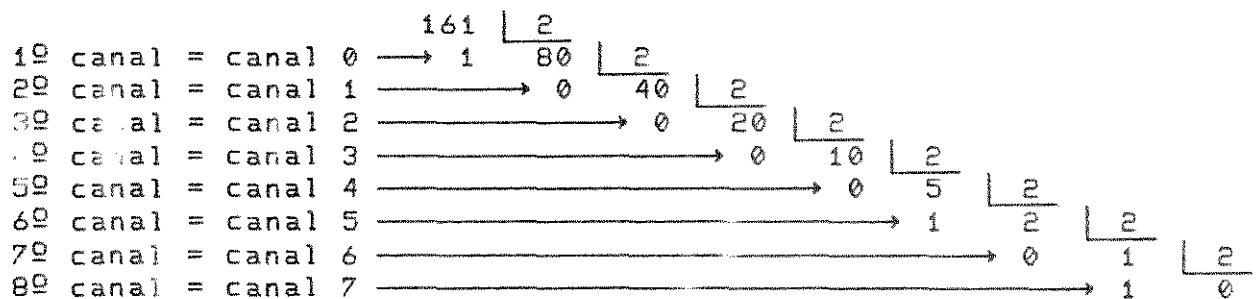
Uma vez que a tensão de saída do "sample-hold" seja



mantida por capacitores, para que não se verifique decaimento destes valores de saída, se faz necessário o endosso do valor num tempo mínimo que garanta a precisão do sistema (ver mais a diante em "6.1.5. Testes": teste de decaimento).

### 5.2.3. Entradas Digitais.

A entrada de sinais digitais é efetuada de forma que um canal com 0 v está em nível 0, e com 5 v (ou 24 v, dependendo de como a placa vem configurada de fábrica) está em nível 1. A função "read\_dig()" é a responsável pelas entradas digitais. Esta função não apresenta argumento em virtude da leitura digital ser efetuada sempre no 10º "byte" contado a partir do endereço-base definido no início do programa principal. A configuração desse "byte" é a própria configuração de níveis dos 8 canais, contudo a função retorna um valor de carácter sem sinal, o que significa um valor entre 0 e 255; a determinação do nível de cada canal é feita convertendo-se esse valor em número binário. Se, por exemplo, o valor de retorno for 161, tem-se...



... os canais 0, 5 e 7 no nível 1 (5 v) e os demais no nível 0 (0 v).

### 5.2.4. Saídas Digitais.

A saída de sinais digitais tem capacidade para comandar relés. O nível 0 é uma saída de 0.6 v e o nível 1 é uma saída de 5.1 v. A função "write\_dig(dado)" é a responsável pelas saídas digitais, onde seu único argumento, dado, deve ser obtido em base decimal a partir da configuração (binária) de níveis dos 8 canais, sendo portanto também dentro do intervalo de 0 a 255. O valor desse argumento nada mais é do que o

somatório dos produtos entre o nível de cada canal e a potência de base 2 cujo expoente é o número do canal (de 0 a 7). Se, por exemplo, se deseja que as saídas dos canais 2 e 3 estejam no nível 1 (5.1 v) e as demais no nível 0 (0.6 v), seu argumento...

canal	7	6	5	4	3	2	1	0
nível	0	0	0	0	1	1	0	0
produtos	$0 \times 2^7$	$0 \times 2^6$	$0 \times 2^5$	$0 \times 2^4$	$1 \times 2^3$	$1 \times 2^2$	$0 \times 2^1$	$0 \times 2^0$
somatório	0 + 0 + 0 + 0 + 8 + 4 + 0 + 0 = 12							

... deve ser igual a 12.

Além das funções de entradas e saídas analógicas e digitais, e das funções de calibração e de modo de operação do conversor A/D, há também duas funções de seleção de canal para comando do multiplexador, sendo uma utilizada na conversão A/D e outra na conversão D/A, as quais não necessitam ser chamadas pelo programa principal, pois as próprias funções de conversão se encarregam por esta tarefa. Há também uma outra função de seleção de canal que é mais geral e chama as duas outras.

#### 5.2.5. Testes.

O manual da placa apresenta como uma das características do conversor A/D uma taxa máxima de 3 kHz/canal, isto é, 3000 leituras/seg.canal. Foi feito um programa de teste, onde feita uma leitura da hora no relógio da multi I/O, tem-se a seguir um "loop" de 100 000 ciclos, sendo a cada ciclo chamada a função de leitura analógica uma vez e para um canal; à saída do "loop" uma segunda leitura da hora é feita e a diferença de tempo colocada na tela. Foi repetido o teste com 4 canais e depois com 8 canais. Os resultados foram:

Nº de canais	tempo (s)	Nº de leituras/s.canal	total de leituras/s
1	37	2703	2703
4	135	741	2963
8	265	377	3019

Os resultados de certa forma foram concordantes com o dado

fornecido pelo manual. Se...

$$3\ 000 \text{ leituras} \cong 1 \text{ segundo} \xrightarrow{\text{então}} 1 \text{ leitura} \cong 3.333 \times 10^{-4} \\ \cong 33\ 333 \times 10^{-8}$$

Um PC-XT tem "clock" original de 4.77 MHz., mas existem versões com 8, 10, 12 e 15 MHz. Sendo o microprocessador de 16 bits, significa processar 16 bits ou 2 "bytes" ou 1 palavra a cada pulso do temporizador, então:

"clock"	palavras/seg.	tempo (seg) para processar 1 palavra
4.77	$4.77 \times 10^6$	$2.096 \times 10^{-7} = 20.96 \times 10^{-8}$
8	$8 \times 10^6$	$1.25 \times 10^{-7} = 12.5 \times 10^{-8}$
10	$10 \times 10^6$	$1.0 \times 10^{-7} = 10 \times 10^{-8}$
12	$12 \times 10^6$	$8.333 \times 10^{-8} = 8.333 \times 10^{-8}$
15	$15 \times 10^6$	$6.666 \times 10^{-8} = 6.666 \times 10^{-8}$

... assim o tempo gasto em uma conversão A/D equivale a:

"clock"	Nº de palavras processadas	Nº de kb proces. ados
4.77	1 590	3.2
8	2 666	5.3
10	3 333	6.7
12	4 000	8.0
15	5 000	10.

Um outro teste foi efetuado para se avaliar o decaimento dos capacitores da saída analógica. O programa para o teste constou de um "loop" infinito, onde a cada passagem um certo valor de saída analógica era endossado. O acionamento da tecla "P" efetuava uma leitura da hora e parava a operação até que qualquer tecla fosse acionada, quando então uma nova leitura da hora era efetuada, a diferença de tempo era colocada na tela e retornava a operação normal do "loop" infinito. Os resultados foram:

saída (mv) no início da pausa	saída (mv) esperada p/.retornar à operação	diferença observada	tempo (seg) (méd. de 3)
2 500	2 250	250	17
2 500	2 000	500	35
2 500	1 500	1 000	72
500	0	500	39
5 000	4 000	1 000	61
5 000	3 000	2 000	125
5 000	2 000	3 000	191

O decaimento médio ficou ligeiramente abaixo de 1 v/min. Tendo a saída analógica precisão de 10 bits, conforme visto em "4.2.3. Conversões A/D e D/A: Precisão, Velocidade e Custos", a sensibilidade é de 4.88 mv, o que significa 0.1%. Ainda que o decaimento médio medido tenha sido menor do que 1 v/min., considerando-se este valor, tem-se:

$$\frac{1\ 000\ \text{mv}}{4.88\ \text{mv}} \times \frac{60\ \text{seg}}{y} ; y = \frac{4.88 \times 60}{1\ 000} = 0.2928\ \text{seg}$$

... isto significa que se o endosso do valor da função de saída analógica é efetuado para cada canal num intervalo de tempo abaixo deste, a precisão de 10 bits fica assegurada.

No programa-contrô desenvolvido para o controle supervisorio em tempo real, o endosso da função de saída analógica é efetuado após 15 linhas de programação de um "loop" infinito. Quando se efetua leitura e escrita analógicas, o número de linhas processadas não chega a 230, contudo, considerando-se este número e o caso quase impossível de acontecer que é coincidir de 7 dos 8 canais consecutivamente efetuarem leitura e escrita analógica, tem-se:

$$230\ \text{linhas/canal} \times 7\ \text{canais} + 15\ \text{linhas do 8º canal} = 1625\ \text{linhas}$$

Supondo-se que cada linha utilize 10 palavras (o que é uma suposição super-dimensionada), tem-se 16250 palavras processadas. Por outro lado, ainda que a função de saída analógica seja executada num tempo menor (bem menor) do que a função de entrada analógica por não precisar de tempo de espera

para estabilização, uma vez que não se tenha feito uma avaliação de seu tempo de execução, considera-se seu tempo de execução igual ao da função de entrada analógica, e para um PC-XT com "clock" de 4.77 MHz. tem-se:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ palavra processada} &= 2.096 \times 10^{-7} \text{ seg} \\
 \text{tempo para 1 entrada e 1 saída analógicas} &= 1590 \times 2 = \\
 &= \text{tempo gasto por } 3180 \text{ palavras processadas/canal} \\
 3180 \text{ palavras/canal} \times 7 \text{ canais} &= 22260 \text{ palavras} \\
 16250 + 22260 &= 38510 \text{ palavras processadas} \\
 2.096 \times 10^{-7} \text{ seg/palavra} \times 38510 \text{ palavras} &= 8.07 \times 10^{-8} \text{ seg.}
 \end{aligned}$$

... isto significa que por aproximações grosseiras, considerando-se as situações mais críticas possíveis, o endosso da função de saída analógica é efetuado num intervalo de tempo máximo de 8 milésimos de segundo, o que significa finalmente que a frequência de endosso está...

$$\frac{0.2928 \text{ seg}}{8.07 \times 10^{-8} \text{ seg}} \approx 36.28$$

... pelo menos 36 vezes mais rápida do que a exigida para a manutenção da precisão de 10 bits.

### 5.3. O Turbo C.

A linguagem utilizada no desenvolvimento dos programas foi o Turbo C (foi usada versão 2.0 da Borland). Entre outras razões foi devido à praticidade, uma vez que as funções de acesso aos endereços da placa utilizam a mesma linguagem. Há entretanto outras razões:

- o Turbo C é uma linguagem compilada e caracterizada por Shildt (1989) como uma linguagem de nível médio, isto é, não tão baixo quanto "Assembly", porém não tão alto quanto BASIC, FORTRAN, ou até mesmo Pascal; dessa forma o Turbo C apresenta facilidades de programação como outras de nível mais alto, contudo concilia também a funcionalidade do "Assembly";

- conforme o mesmo autor, por ser uma linguagem estruturada, característica esta comum às linguagens mais modernas, apresenta

facilidade e clareza de programação, bem como facilidade para alterações posteriores;

- permite a manipulação de bits, "bytes" e endereços, o que vem a ser de extrema importância em trabalhos como os de conversão A/D e D/A;

- alta velocidade em programas executáveis sempre foi a principal razão para a programação em "Assembly", ainda que esta sempre tenha apresentado elevado grau de complexidade; com o surgimento do Turbo C, tornaram-se raras as circunstâncias em que ainda seja justificável este tipo de programação, haja visto que se for bem usado, os programas em Turbo C geralmente costumam ser tão eficientes quanto em linguagem de máquina; é claro que essa elevada velocidade de seus executáveis tem seu preço, afinal compiladores de Turbo C não costumam efetuar muitas verificações em tempo de execução, tornando essa linguagem mais perigosa e conseqüentemente exigindo mais cuidados por parte do programador que, se, por exemplo, ao chamar uma função de argumentos inteiros, utilizar argumentos de ponto flutuante, a execução será errada, contudo nenhum tipo de aviso será dado por parte do compilador;

- a segunda versão do Turbo C da Borland (versão 1.5) foi, segundo Kelly-Bootle (1989), lançada pouco tempo após o lançamento da versão 1.0, contudo veio bem mais poderosa quanto a recursos gráficos, oferecendo facilidades similares às oferecidas pelo Turbo Pascal;

- portabilidade é outra característica importante em uma linguagem (uma linguagem é dita portátil se a sintaxe de seu programa-fonte não muda independentemente do computador e conseqüentemente do compilador utilizado), sendo esta uma característica apresentada pelo Turbo C, ainda que relativamente recente (foi há poucos anos que o American National Standards Institute criou o padrão ANSI-C, tornando-a uma linguagem portátil);

- Kelly-Bootle (1989) também acrescenta a vantagem de o Turbo C permitir que, após ser gerado o programa-objeto a partir do programa-fonte e da biblioteca utilizada, programas-objeto compilados em "Assembly", Turbo Pascal e Turbo Prolog podem gerar um único programa executável a partir do "Linker" do Turbo C,

significando, por exemplo, que o programa em tempo real desenvolvido para a placa TAURUS ADA, caso haja necessidade, pode vir a operar, após algumas adaptações, com outra placa que execute as mesmas tarefas e cujas funções de acesso à mesma sejam escritas em alguma das linguagens citadas.

Não desmerecendo nenhuma das demais linguagens, o Turbo, conforme exposto, apresentou razões suficientes que justificassem sua utilização (é conveniente ressaltar o poder de linguagens como o turbo Pascal, FORTRAN em suas versões mais modernas, e principalmente as versões mais modernas de BASIC, as quais são compiladas e não interpretadas como eram no passado).

#### 5.4. Estrutura Computacional e Testes.

O fabricante da placa ADA forneceu, conforme já exposto, um programa com testes de instalação, contudo somente sua versão executável. Tendo-se desse programa-fonte de testes de instalação somente a listagem das funções de acesso à placa (supondo-se que as funções listadas fossem rigorosamente as mesmas que geraram o programa executável), desenvolveu-se um programa mais simples, para operar de forma semelhante ao programa de testes, com o intuito de aprendizado da sintaxe envolvida no programa principal ao se chamar as funções listadas no manual. A seguir tem-se o fluxograma do referido programa, onde:

- "nch" é a variável com o número de canais utilizados ( $1 \leq nch \leq 8$ );

- "tch [canal]" é a variável indexada que atribui o intervalo de tempo de leitura analógica para cada canal;

- "buffer"  $\longrightarrow$  reporta-se sempre ao "buffer" do teclado;

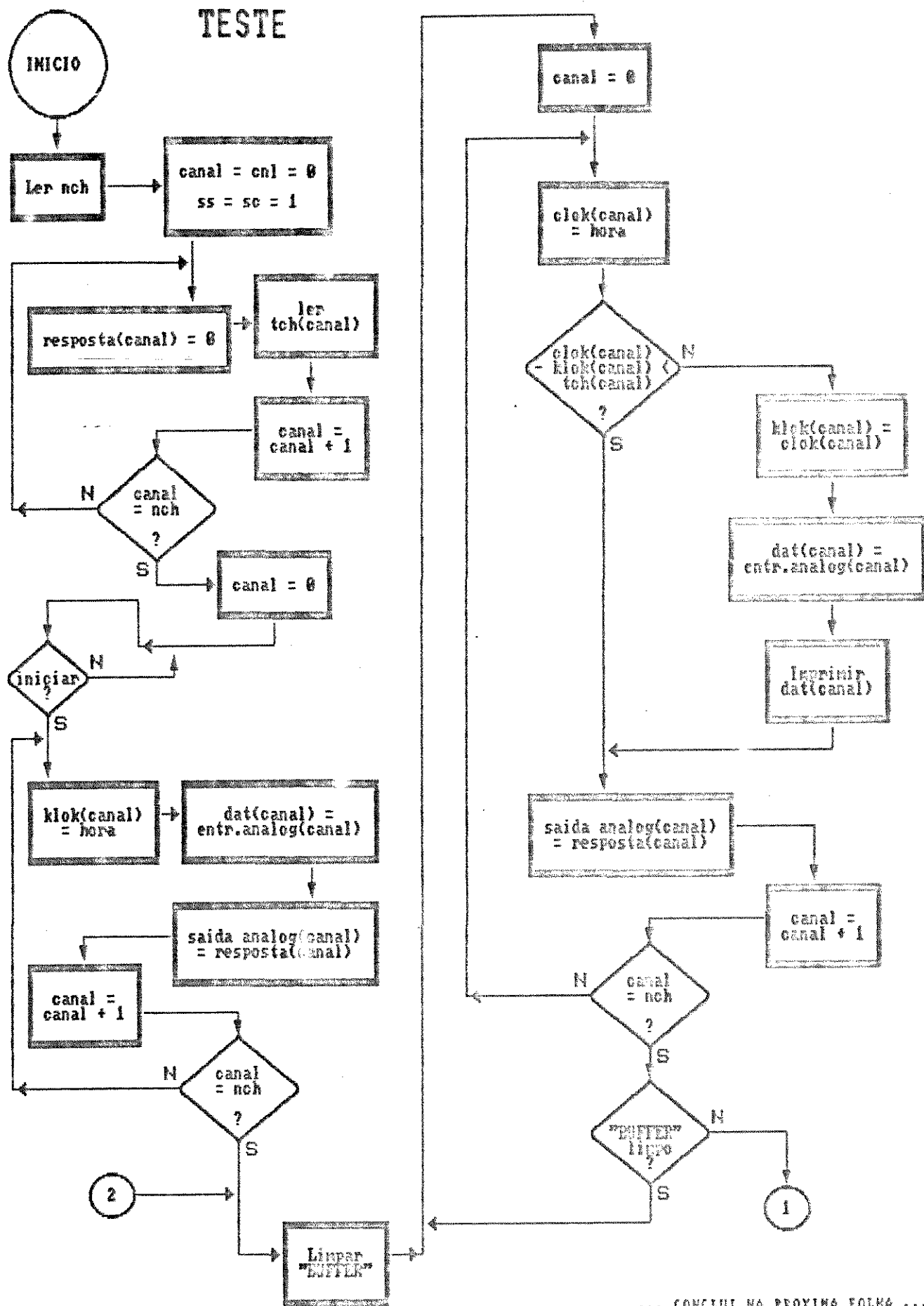
- imprimir  $\longrightarrow$  reporta-se sempre à impressão em tela;

- "klok = hora" ou "clok = hora" significa que qualquer uma das variáveis assume da hora local instantânea;

- "dat [canal] = entr.analóg.[canal]" atribui à variável "dat" do referido canal o valor de resposta da função de entrada analógica;

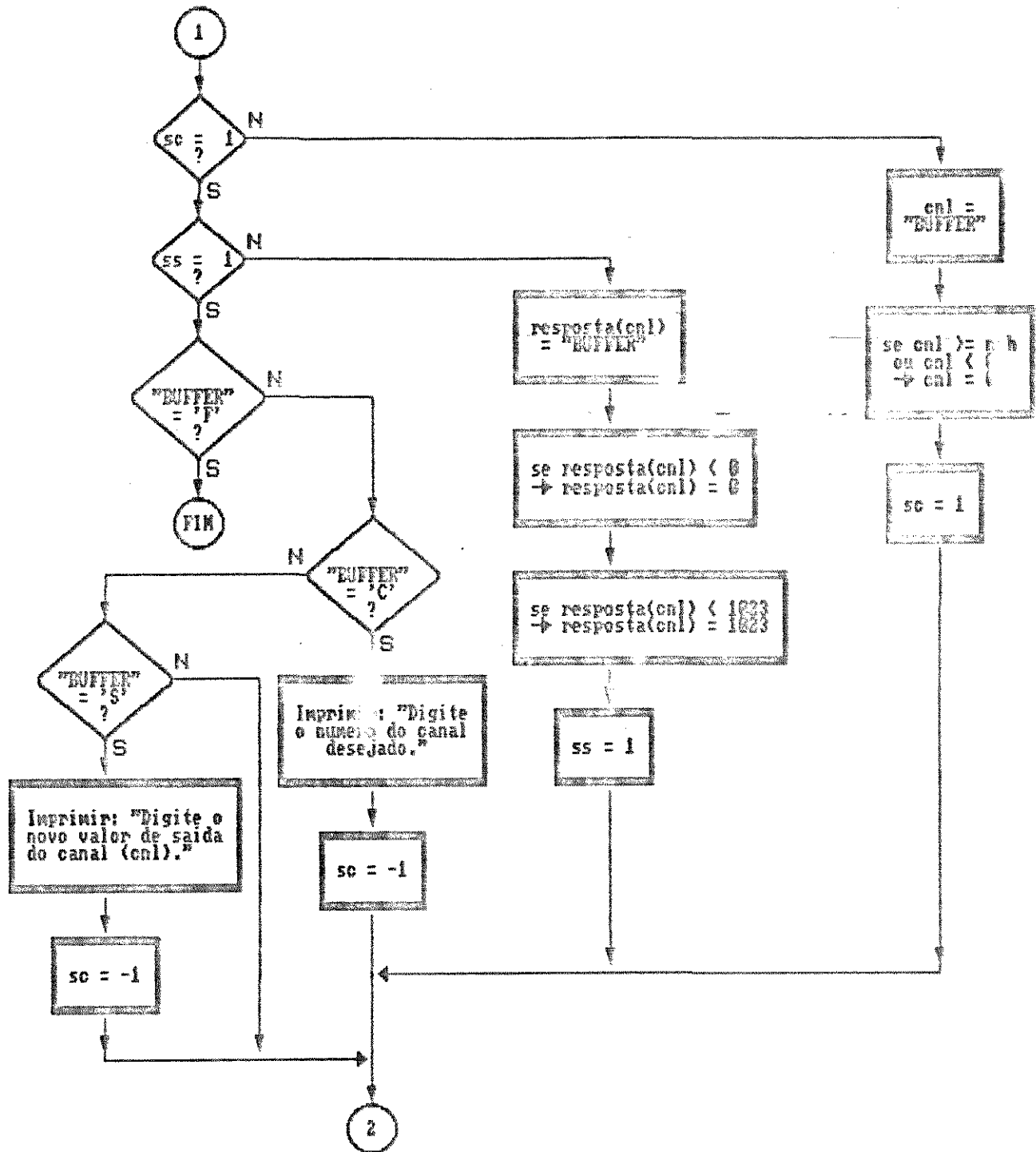
- "saída analóg.[canal] = resposta [canal]" envia à saída analógica do respectivo canal o valor da variável "resposta [canal]" devidamente convertido ("resposta" varia entre 0 e 1023; de forma linear, tensão de saída varia entre 0 e 5 v).

## TESTE





... CONCLUSÃO - TESTE.



Os programas desenvolvidos que constituem o Sistema de Controle Supervisório são 5 (cinco):

- GERNT.C, .OBJ, .EXE;
- FORMA.C, .OBJ, .EXE;
- ALTERA.C, .OBJ, .EXE;
- SIMPER.C, .OBJ, .EXE;
- SUPER.C, .OBJ, .EXE;

Os dois últimos programas apresentados são os programas nos quais a maior parte do tempo de execução se faz em tempo real. Eles são muito semelhantes entre si, tendo basicamente a mesma estrutura. O programa SUPER (.EXE) opera efetivamente com aquisição de dados, contudo só pode ser executado em microcomputadores da linha IBM-PC dotados de placa TAI S ADA com a mesma configuração na qual (o SUPER.C) foi desenvolvido (endereço-base 220h e entrada e saída analógicas entre 0 e 5 v). O programa SIMPER executa apenas uma demonstração simulada, onde os dados que seriam lidos à entrada analógica são na verdade aleatoriamente gerados numa função criada especificamente para este fim, bem como os valores que sairiam através da saída analógica são escritos na última linha da tela, possibilitando neste caso a operação em qualquer máquina da linha IBM-PC.

As instruções de configuração do processo a controlar são armazenadas em arquivos cuja extensão é ".GRT". Uma vez que leia o arquivo com o nome desejado pelo usuário e com a extensão citada o SUPER (ou SIMPER) fica totalmente habilitado a operar em tempo real, aguardando apenas comando de partida por parte do usuário.

A formação dos arquivos de configuração do processo é efetuada pelo programa FORMA e alterações posteriores em qualquer arquivo de configuração é possível através do programa ALTERA.

Tanto a montagem, quanto qualquer alteração posterior em um arquivo de configuração exige a atenção a certas particularidades para que fique garantida a boa operação posterior do sistema, quando este estiver em execução a tempo real. Tanto o FORMA quanto o ALTERA foram programados atendendo a essas particularidades. Assim sendo, durante a montagem ou alteração de um arquivo de configuração, qualquer dado incompatível é rejeitado e o usuário é instruído como proceder.

As leituras analógicas efetuadas não são diretamente armazenadas em nenhuma unidade de memória magnética. Há duas razões para este fato:

1ª) o acesso a unidades de memória magnética é mais lento do que o acesso a uma área qualquer da RAM, mesmo que essa unidade seja de disco rígido (as operações de gravação em unidade de memória magnética, uma vez que sejam "bufferizadas", não constituem neste caso grande problema devido à pequena quantidade de dados armazenados, no entanto operações de leitura em unidade de memória magnética, por não contarem com essa vantagem, são necessariamente efetuadas no "tempo" da unidade mecânica, que é extremamente longo, e levou, no caso particular do sistema desenvolvido, tais operações a nunca serem efetuadas em tempo real);

2ª) o envolvimento com operações mecânicas, por promover desgaste das unidades, deve ser evitado ao máximo. Diante dessas razões, o procedimento utilizado envolve armazenamento dos dados lidos em matrizes.

A RAM e as unidades de memória magnética, apresentam obviamente limitações de capacidade de dados armazenados. Levando-se em conta que durante a operação do processo em regime permanente os dados mais recentes têm maior importância do que os mais antigos para a manutenção da continuidade da operação, periodicamente conjuntos de dados relativos a cada ponto supervisionado do processo são apagados da RAM, tomando-se antes, porém, o cuidado de calcular para cada conjunto o valor médio dos termos, o somatório dos termos, o somatório dos quadrados dos termos, o número de termos e o menor e o maior dentre todos os termos. Tem-se assim o 1º nível de médias. Se em um intervalo de tempo  $x$  é determinado um valor médio dos valores lidos de um certo ponto supervisionado do processo, passando um tempo  $2x$ , uma segunda média é determinada (bem como somatório, somatório dos quadrados, etc.). Após um tempo bem maior, a quantidade de médias é suficientemente alta para justificar o mesmo tratamento estatístico, só que gerando valores num 2º nível de médias. Portanto o cálculo passa a ser o da média entre valores médios, o que justificaria que essa nova média calculada fosse ponderada, mas como os valores médios são calculados a partir de um número

quase sempre constante de dados lidos do processo, a simples média aritmética não chega a um valor tão distanciado da média ponderada.

A determinação do maior e do menor valor no 2º nível de médias é feita por simples comparação entre todos os menores valores e entre todos os maiores valores, do nível anterior.

Com relação ao número de termos e aos somatórios de termos e de quadrados de termos, uma vez que o objetivo do cálculo destes seja o cálculo do desvio-padrão, tais valores são apenas somados, isto é, são somados os valores de cada função em um nível para se obter o valor da mesma função no nível imediatamente acima (o cálculo de valores médios dessas funções estatísticas não apresentaria nenhum significado consistente, pois tão somente fariam o desvio-padrão cada vez mais se aproximar de 1, perdendo assim a razão de calculá-lo). Cuidados devem ser tomados, principalmente no somatório dos quadrados, devido a problemas computacionais de "overflow" (sobre-capacidade).

A adoção do procedimento de cálculos periódicos para obtenção de médias e outros valores de significado estatístico relevante leva a um conhecimento sempre mais detalhado, mais pormenorizado, do comportamento dos pontos supervisionados nos períodos de tempo mais recentes, e um conhecimento menos detalhado dos períodos de tempo gradativamente anteriores. O sistema pode comportar de 1 a 9 níveis de médias, estando os valores constantemente disponíveis na RAM e podendo ser tabelados a qualquer instante, contudo para cada nível existe uma quantidade fixa de valores disponíveis, onde, a cada novo valor introduzido, o valor mais antigo é eliminado (quando um valor é eliminado, garantidamente este já participou de um tratamento estatístico juntamente com outros, tendo-se do conjunto um valor médio para o nível exatamente acima, excetuando-se apenas os valores eliminados do último nível de médias).

Apenas um nível pode ser escolhido para que dele seus valores sejam gravados em unidade de memória magnética. Não há limite para a quantidade de valores gravados em memória magnética, isto é, cada nova gravação de valores é agregada às anteriores, não sendo nenhum valor desgravado e exigindo portanto a troca periódica dessas unidades, contudo permitindo a formação

de um histórico permanente da unidade. Os valores armazenados em unidade de memória magnética não retornam mais ao sistema em tempo real. O objetivo da gravação destes valores é o processamento "off-line" para quaisquer finalidades. Para cada canal é gravado um arquivo cujo nome é formado pelos caracteres (no máximo 4) do nome do arquivo de configuração do processo e pelos caracteres (no máximo 3) do nome do ponto supervisionado, seguidos pela extensão ".DP" que significa "Dados do Processo".

#### 5.4.1. GERNT.

Este é um programa de estrutura simples, porém de importância fundamental uma vez que funcione como um GERENTE do Sistema de Supervisão. O usuário deve colocá-lo em operação, e a partir daí ele se encarrega de colocar os demais programas em operação. Iniciada sua execução, vão sendo sucessivamente apresentadas as telas a seguir.

Sistema para Supervisao e Controle de Plantas

de Processo Quimico por Computador

UNICAMP

Renato Moraes Lima

Dr. Joao Alexandre Ferreira da Rocha Pereira  
(Orientador)

( aperte qualquer tecla para começar ... )

Após à remoção da tela de apresentação , uma segunda tela começa a ser formada.

A) Unid.do.arq.ger.(A,B,C ou D) : \_

Digitada a unidade, segue-se o nome do arquivo (por exemplo: Torre Absorvedora 1, isto é ABS1).

A) Unid.do.arq.ger.(A,B,C ou D) : A    B) Nome(max.4 carac.)do Set.monit.: \_

Não sendo encontrado o arquivo, é realizada uma verificação sobre se o mesmo pode ser montado e gravado na referida unidade. Se esta operação não for possível, tem-se

A) Unid.do.arq.ger.(A,B,C ou D): A    B) Nome(max.4 carac.)do Set.monit.: ABS1

Operacao nao realizada.

Unid. "A:" cheia ou protegida.

... aperte qualquer tecla...

Qualquer tecla acionada leva o usuário a digitar novamente os dois itens, A e B. Uma vez que digitados e não sendo encontrado o arquivo, podendo o mesmo ser montado e gravado na referida unidade, tem-se:

A) Unid.do.arq.ger.(A,B,C ou D): B    B) Nome(max.4 carac.)do Set.monit.: ABS1

Nao encontrado o "ABS1". Voce deseja cria-lo agora? (S ou N): \_

A uma resposta negativa, tem-se:

A) Unid.do.arq.ger.(A,B,C ou D): B B) Nome(max.4 carac.)do Set.monit.: ABS1

Nao encontrado o "ABS1". Voce deseja cria-lo agora? (S ou N): N

Opcao (A ou B) a alterar: \_

Escolhida a opção, feita a devida alteração, não sendo encontrado o arquivo e sendo desejado manter o mesmo, leva o programa a colocar em execução um outro responsável pela formação do arquivo - o FORMA; se no entanto o arquivo é encontrado, este é diretamente lido e apresentado na tela, conforme se pode observar a seguir.

A) Unid.do.arq.ger.(A,B,C ou D) : B B) Nome(max.4 carac.)do Set.monit.: ABS1  
CRITERIO: C

Pto	Unid	T(s)	T(m)	Extr.	Extr.	Unid.	Alar	Ganho	rt	rd	set-	bia
mem.	leito	grav	inf.	sup.		min.	max.	(K)			point	%

PT1	C	9	5	0.0	14.7	psig	13.27	14.72	8.50	27.43	2.50	4.0	27.
TT0	C	11	5	-5.0	28.0		CI####	-2.1	15.60	#	#	-2.5	7.
PT2	C	13	5	200.0	300.0	kPa	126.9	127.8	3.20	12.50	1.20	258.3	158.
FT9	C	15	5	1500.0	3000.0	l/min	1238.7	1277.8	4.00	#	#	1.10	2583.2
FT4	C	17	5	1.2	10.0	m3/h	16.18	18.38	10.00	33.85	3.70	7.3	169.
TT1	C	21	5	373.0	523.0		K1446.1	1478.1	1.00	#	#	462.2	159.
TT7	A	30	15	159.0	212.0		FI####	15.00	4.50	15.00	#	176.5	176.
LT5	A	40	15	0.0	500.0	cm	1472.1	7.00	#	#	1.05	400.0	180.

Media | determ. a cada MM:dd:hh:mm | nos ultimos MM:dd:hh:mm

1a.	00:00:00:05	00:00:01:30
2a.	00:00:00:15	00:00:03:00
3a.	00:00:01:00	00:00:06:00
4a.	00:00:03:00	00:00:12:00
5a.	00:00:06:00	00:01:00:00
6a.	00:00:12:00	00:05:00:00
7a.	00:01:00:00	00:15:00:00
8a.	00:03:00:00	01:00:00:00
9a.	00:15:00:00	03:00:00:00

E' este o arquivo desejado (S ou N)? \_

Não sendo este arquivo exibido o arquivo desejado, mais uma vez a tela é limpa e o usuário levado a reiniciar todo o processo desde a digitação das duas opções iniciais. Se entretanto se trata do arquivo desejado, tem-se:

```

A) Unid.do.arq.ger.(A,B,C ou D) : B   B) Nome(max.4 carac.)do Set.monit.: ABS
CRITERIO: C
Pto|Unid|T(s)|T(m)|Extr. |Extr. |Unid. | Alarmes |Ganho|  z1 |  z2 | set- |bia
   |mem. |leit|grav| inf. | sup. |      | min. |max. | (K) |    |    | point| %
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
PT1| C: | 9| 5| 0.0 |14.7 | psig|3.27|4.72| 8.50|27.43| 2.50| 4.0|27.
TT0| C: |11| 5| -5.0 |28.0 | `C|H|H|H|H|-2.1|15.60| H | H | -2.5| 7.
PT2| C: |13| 5|200.0 |300.0 | kPa|H|H|H|H|269. | 3.20|12.50| 1.20| 258.3|58.
FT9| C: |15| 5|1500.0 |3000.0 |1/min|2387|2778| 4.00| H | 1.10|2583.2|72.
FT4| C: |17| 5| 1.2 |10.0 | m3/h|6.18|8.38|10.00|33.85| 3.70| 7.3|69.
TT1| C: |21| 5|373.0 |523.0 | KI446.1478. | 1.00| H | H | 462.2|59.
TT7| A: |30| 15|59.0 |212.0 | `F|H|H|H|H|H|H|H| 4.50|15.00| H | 176.5|76.
LT5| A: |40| 15| 0.0 |100.0 | cm|H|H|H|H|H|H|H|H| 472. | 7.00| H | 1.05| 400.0|80.
Media | determ. a cada MM:dd:hh:mm | nos ultimos MM:dd:hh:mm
-----|-----|-----|
1a. | 00:00:00:05 | 00:00:01:30
2a. | 00:00:00:15 | 00:00:03:00
3a. | 00:00:01:00 | 00:00:06:00
4a. | 00:00:03:00 | 00:00:12:00
5a. | 00:00:06:00 | 00:01:00:00
6a. | 00:00:12:00 | 00:05:00:00
7a. | 00:01:00:00 | 00:15:00:00
8a. | 00:03:00:00 | 01:00:00:00
9a. | 00:15:00:00 | 03:00:00:00
E'este o arquivo desejado (S ou N)? S   Correcao em algum dado (S ou N)? _

```

Se o usuário deseja efetuar alguma correção, o GERNT coloca em execução o programa ALTERA, senão segue direto para:

Digite:

"A" para obter uma demonstracao simulada do sistema ou ...

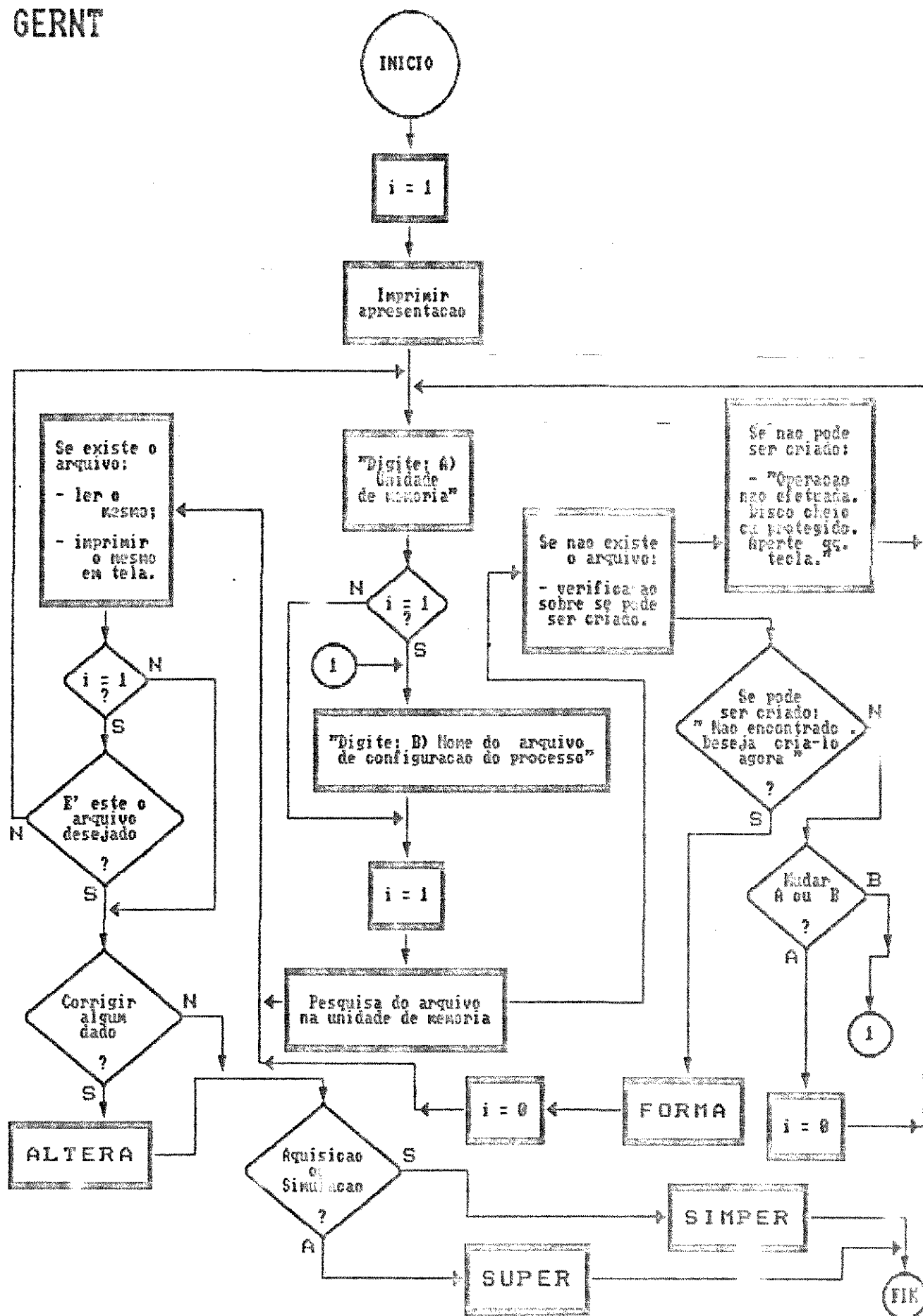
"B" para operar efetivamente com dados analogicos.

O usuário digitando A, o GERNT coloca em execução o SIMPER; digitando B, entra em execução o SUPER. Ao término da execução de qualquer um dos dois programas, há um retorno à execução do GERNT que finaliza a operação do sistema.

A seguir é apresentado um fluxograma do programa GERNT.



## GERNT



#### 5.4.2. FORMA.

Este programa tem a função de formar arquivos de configuração de processos para serem utilizados pelos programas SIMPER ou SUPER. Ao iniciar sua execução, a primeira tela que surge é explicativa, conforme se observa a seguir.

Digite para CADA PONTO supervisionado:

- nome (utilizando no maximo 3 caracteres);
- unid. de memoria para grav. dos dados lidos (drive: A,B; winch.: C,D);
- intervalo de tempo de leitura (de 8 a 240 segundos);
- intervalo de tempo para grav. na unid. de memoria (de 5 a 120 min.);
- "##" para finalizar logo apos os dados do ultimo ponto (onde seria o nome do proximo ponto);

... em seguida digite alternadamente:

- intervalos de tempo (minimo= 5 min.) para o calc. de medias sucessivas;
- intervalos de tempo para a manutencao destes valores na memoria;
- "##" para finalizar logo apos os dados da ultima media (onde seria o interv. de tempo da prox. media).

Obs.: 1) Para digitar os intervalos de tempo, utilize 2 digitos para mes, dia, hora e minuto, isto e', "MM:dd:hh:mm".

2) Utilize ate'o maximo de 9 (nove) niveis de medias!

...aperte qualquer tecla...

Com o acionamento de qualquer tecla, uma tela com campos vazios numerados, conforme se observa a seguir, é formada, onde o usuário introduz dado por dado das duas primeiras etapas da configuração (a cada novo <ENTER> o cursor automaticamente segue para o campo seguinte).



Terminada a segunda etapa é feita a pergunta sobre alteração ou não de algum dos dados inseridos até esta fase. Caso a resposta seja afirmativa, o usuário é interrogado sobre qual o campo a alterar, através de seus números de referência que variam de 1 (nome do 1º ponto supervisionado) a 50 (intervalo de tempo para manutenção em RAM do 9º nível de médias), conforme o exemplo a seguir.

Ponto	1o.	2o.	3o.	4o.	5o.			
Nome (até 3 caracteres) ou "##" para finalizar	1)	5)	9)	13)	17)	##		
	PT1	TT0	PT2	FT9	FT4			
Unid. de mem. para gravacao dos dados (A,B,C ou D)	2)	6)	10)	14)	18)			
	B	A	A	A	A			
Intervalo de tempo (em seg) de leitura (8 a 240)	3)	7)	11)	15)	19)			
	8	11	13	15	17			
Intervalo de tempo (em min) de gravacao (5 a 120)	4)	8)	12)	16)	20)			
	5	5	5	8	15			
M   Interv.de tempo   Interv.de tempo   M   Interv.de tempo   Interv.de tempo e   de calc.de medias   de manut. em mem.   e   de calc.de medias   de manut. em mem. d   (MM:dd:hh:mm)   (MM:dd:hh:mm)   d   (M:dd:hh:mm)   (MM:dd:hh:mm)								
1a   33) 00:00:00:05   34) 00:00:01:30   12a   35) 00:00:00:15   36) 00:00:03:00								
3a   37) 00:00:01:00   38) 00:00:06:00   14a   39) 00:00:03:00   40) 00:00:12:00								
5a   41) 00:00:06:00   42) 00:01:00:00   16a   43) 00:00:12:00   44) 00:05:00:00								
##								
Opcao: _								

Se o usuário digita o número referente a um campo não utilizado (no exemplo citado poderia ser qualquer um entre 21 e 32 ou acima de 44), este é rejeitado, e o cursor permanece aguardando a digitação de um número coerente. Isto feito, o cursor se transporta para o campo solicitado, sendo apagado o valor anterior. Uma vez que alterado o valor desejado, novamente é feita a pergunta sobre alteração. Este processo se repete sucessivamente até que não haja necessidade de mais nenhuma alteração. Quando se responde negativamente à pergunta sobre a necessidade de alteração de algum dado, pode eventualmente

- o número máximo de dados por canal que pode ser armazenado na RAM é 39 (qualquer quantidade de dados superior a esta exige que a compilação seja efetuada utilizando-se modelos de memória maior do que o padrão de endereços de 16 bits, tornando o executável resultante mais lento), o que implica em

que, para cada canal, o intervalo de tempo de gravação em unidade de memória magnética seja menor do que 39 vezes o intervalo de leitura do mesmo.

Se o FORMA não consegue fazer todas estas correções, aparece uma mensagem de erro avisando que o arquivo deve ser todo refeito desde seu início, bem como o que nele deve ser modificado (ver exemplo a seguir).

Ponto	1o.	2o.	3o.	4o.	5o.		
Nome (ate' 3 caracteres) ou "##" para finalizar	1)	5)	9)	13)	17)	##	
	PT1	TT0	PT2	FT9	FT4		
Unid. de mem. para gravacao dos dados (A,B,C ou D)	2)	6)	10)	14)	18)		
	B	A	A	A	A		
Intervalo de tempo (em seg) de leitura (8 a 240)	3)	7)	11)	15)	19)		
	8	11	13	15	17		
Intervalo de tempo (em min) de gravacao (5 a 120)	4)	8)	12)	16)	20)		
	5	5	5	8	15		.
M   Interv.de tempo   Interv.de tempo   IM   Interv.de tempo   Interv.de tempo e   de calc.de medias   de manut. em mem.   de calc.de medias   de manut. em mem. d   (MM:dd:hh:mm)   (MM:dd:hh:mm)   Id   (MM:dd:hh:mm)   (MM dd:hh:mm)							
1a   33) 00:00:00:05   34) 00:00:01:30   IERRO! Refazer o arquivo!							
3a   37) 00:00:01:00   38) 00:00:06:00   Diminuir o intervalo de tempo para o							
5a   41) 00:00:06:00   42) 00:01:00:00   calculo da 1a. media!							
##							
							...aperte qualquer tecla...

Após ordem de re-início por parte do usuário, todos os campos são apagados e o procedimento é repetido. Se o programa consegue fazer todas as correções necessárias, pode eventualmente trocar alguns dos valores inseridos pelo usuário apresentando nos mesmos campos os valores recalculados e a mensagem "VALORES FINAIS ...aperte qualquer tecla" (ver exemplo a seguir).

Ponto	1o.	2o.	3o.	4o.	5o.		
Nome (até 3 caracteres) ou "##" para finalizar	1) PT1	5) TT0	9) PT2	13) FT9	17) FT4	##	
Unid. de mem. para gravacao dos dados (A,B,C ou D)	2) B	6) A	10) A	14) A	18) A		
Intervalo de tempo (em seg) de leitura (8 a 240)	3) 8	7) 11	11) 13	15) 15	19) 17		
Intervalo de tempo (em min) de gravacao (5 a 120)	4) 5	8) 5	12) 5	16) 8	20) 15		
M   Interv. de tempo   Interv. de tempo   IM   Interv. de tempo   Interv. de tempo e   de calc. de medias   de calc. de medias   e   de calc. de medias   de calc. de medias d   (MM:dd:hh:mm)   (MM:dd:hh:mm)   d   (MM:dd:hh:mm)   (MM:dd:hh:mm)							
1a) 33) 00:00:00:05	34) 00:00:03:10	12a) 35) 00:00:00:15	36) 00:00:09:30				
3a) 37) 00:00:01:00	38) 00:00:06:00	14a) 39) 00:00:03:00	40) 00:00:12:00				
5a) 41) 00:00:06:00	42) 00:01:00:00	16a) 43) 00:00:12:00	44) 00:05:00:00				
##							

II VALORES FINAIS... aperte qualquer tecla

A tela a seguir é a explicativa sobre a 3ª etapa, na qual se faz a introdução de dados individuais de cada ponto monitorado não comprometedores das operações computacionais. Estes dados configuram a ação supervisória.

Digite para CADA PONTO supervisionado:

- unidade da grandeza física da escala (max = 5 caracteres);
- valor extremo inferior na unidade da escala;
- valor extremo superior na unidade da escala;
- alarme de minimo (use 4 caracteres, completando com "." e zeros) ...  
...ou "####" caso o ponto supervisionado nao tenha alarme de minimo;
- alarme de maximo (use 4 caracteres, completando com "." e zeros) ...  
...ou "####" caso o ponto supervisionado nao tenha alarme de maximo;
- valor de referencia ("set-point") na unidade da escala ou "##" para  
malha aberta;

...aperte qualquer tecla..

Prosseguindo , surge uma nova tela com mais campos vazios e numerados a serem preenchidos.

Ponto	Unidade	Extremos da escala		Alarmes de:		"Set-point" ou "##" para malha aberta
		inferior	superior	mínimo ou "####"	máximo ou "####"	
PT1	1) _					

Valores incompatíveis são automaticamente rejeitados. Se, por exemplo, um valor de alarme de máximo de um ponto supervisionado for superior ao valor extremo superior na escala da unidade da grandeza física desse mesmo ponto, o cursor retorna ao campo desse valor extremo superior. A tela preenchida fica:

Ponto	Unidade	Extremos da escala		Alarmes de:		"Set-point" ou "##" para malha aberta
		inferior	superior	mínimo ou "####"	máximo ou "####"	
PT1	1) psig	2) 0	3) 14.7	4) 3.27	5) 4.72	6) 4
TT0	7) °C	8) -5	9) 28	10) ####	11) -2.1	12) -2.5
PT2	13) kPa	14) _	15) 300	16) ####	17) 269.	18) 258.3
FT9	19) l/min	20) 1500	21) 3000	22) 2387	23) ####	24) 2583.2
FT4	25) m3/h	26) 1.2	27) 10	28) 6.18	29) 8.38	30) ##
TT1	31) K	32) 373	33) 523	34) 446.	35) 478.	36) 462.2
TT7	37) °F	38) 59	39) 212	40) ####	41) ####	42) 176.5
LT5	43) cm	44) 0	45) 500	46) ####	47) 472.	48) ##



Após serem dadas as instruções a respeito de cada um dos pontos supervisionados e serem efetuadas eventualmente alterações, uma 4ª etapa pode se iniciar caso tenha sido atribuído valor de referência a pelo menos um dos pontos supervisionados, indicando haver também ação regulatória. Esta 4ª etapa, assim como as anteriores, se inicia com uma tela explicativa. Nesta etapa se introduz dados individuais de cada ponto supervisionado não comprometedores das operações computacionais, configurando estes a ação regulatória.

Digite para CADA PONTO supervisionado:

- ganho do controlador (de 0.01 a 99.99);
- constante de tempo integral (de 0.01 a 99.99) ou "##" para controle do tipo P (proporcional) ou PD (proporcional-derivativo);
- constante de tempo derivativo (de 0.01 a 99.99) ou "##" para controle do tipo P (proporcional) ou PI (proporcional-integral);
- valor de saída em regime estacionário ("bias");

...aperte qualquer tecla...

Após comando do usuário mais uma tela de campos vazios é formada. Nesta tela, ainda que existam campos para até 8 pontos supervisionados, só são preenchidos os campos referentes aos pontos onde na 3ª etapa foram atribuídos valores de referência.



A 5ª e última etapa, tal qual a 4ª etapa, só é efetuada caso haja ação regulatória em pelo menos um ponto supervisionado. Trata-se de uma etapa rápida, onde numa única tela são detalhados 4 (quatro) critérios de se efetuar o algoritmo de controle, sendo a opção escolhida única para todos os pontos com ação regulatória.

O algoritmo usual de um controlador PID é dado pela equação:

$$m(t) = m_s + k_c \left[ e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^{nT} e(t) dt + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \right]$$

A discretização do termo proporcional é:

$$e(t) = sp - dat, \quad \text{onde: } sp = \text{"set-point"} \quad e \\ dat = \text{dado lido.}$$

A discretização do termo derivativo é:

$$\frac{d}{dt} e(t) = \frac{de}{dt} = \frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{(sp - dat) - (sp - dat.ant)}{\Delta t} = \\ = \frac{sp - dat - sp + dat.ant}{\Delta t} = \frac{dat.ant - dat}{\Delta t}$$

$$\tau_d \frac{d}{dt} e(t) = tal_d \cdot \left[ \frac{dat.ant - dat}{\Delta t} \right],$$

onde  $dat.ant$  = dado lido na vez imediatamente anterior.

A discretização do termo integral (aproximando-se por trapézios) é:

$$\int_0^T e(t) dt = \frac{e_0 + e_1}{2} \cdot \Delta t_1 = \frac{sp - dato + sp - dat_1}{2} \cdot \Delta t_1 = \\ = \frac{2.sp - (dato + dat_1)}{2} \cdot \Delta t_1 = 1^\circ \text{ resultado}$$

$$\text{assim} \quad \int_T^{2T} e(t) dt = \frac{2.sp - (dat_1 + dat_2)}{2} \cdot \Delta t_2$$

$$e \quad \int_0^{2T} e(t) dt = \int_0^T e(t) dt + \int_T^{2T} e(t) dt = \\ = 1^\circ \text{ resultado} + \frac{2.sp - (dat_1 + da. )}{2} \cdot \Delta t_2$$

$$= 2^\circ \text{ resultado}$$

por fim...

$$\int_0^{nT} e(t) dt = \text{resultado anterior} + \frac{2 \cdot sp - (dat.\text{ant} + dat)}{2} \cdot \Delta t$$

$$\frac{1}{\tau_i} \int_0^{nT} e(t) dt = \frac{\text{result. ant.}}{\tau_i} + \frac{[2 \cdot sp - (dat.\text{ant.} + dat)] \cdot \Delta t}{2 \tau_i}$$

$$\text{onde } \frac{\text{result. ant.}}{\tau_i} = \text{sum}$$

A forma discretizada fica então:

resposta = "bias" + ...

$$+ \text{ganho} \cdot \left\{ \left\{ sp - dat \right\} + \left\{ \text{sum} + \frac{[2 \cdot sp - (dat.\text{ant} + dat)] \cdot \Delta t}{2 \cdot \text{tal}_1} \right\} + \left\{ \frac{\text{tal} - d \cdot (dat.\text{ant} - at)}{\Delta t} \right\} \right\}$$

Para a eliminação do problema de saturação integral ("reset-windup"), utilizou-se primeiramente o seguinte critério:

A) quando os valores oriundos do termos proporcional e do termo integral têm sinais contrários, o valor oriundo do termo integral é desprezado para efeito do cálculo de  $m(t)$ , isto é, a resposta;

B) quando o valor oriundo do termo proporcional é zero e o valor oriundo do termo integral tem o mesmo sinal que o valor oriundo do termo proporcional da leitura anterior, este valor do termo integral também é desprezado para efeito do cálculo de  $m(t)$ .

A adoção destas regras torna bastante freqüente o cancelamento do termo integral, o que traz como vantagem uma resposta rápida do controlador mediante inversão no sinal do desvio,  $e(t)$ , isto é, passagem do valor lido pelo valor de referência, no entanto há a desvantagem de o valor oriundo do termo integral demorar muito tempo para apresentar o mesmo sinal que o valor oriundo do termo proporcional. Como desvantagem adicional, cabe ressaltar que é justamente o termo integral que aumenta a capacitância da dinâmica do controlador, isto é, a inércia da decisão na resposta final, contrabalançando com a atuação dos termos proporcional e derivativo. A ausência do termo integral

torna a atuação mais rápida, mas também o resultado dinâmico mais oscilante (é claro que é bastante relevante à análise do comportamento do controlador o valor do ganho e das constantes de tempo integral e derivativo).

Um segundo critério a adotar é proposto por Seaborg (1989). Este autor sugere o estabelecimento de um limite máximo para o acumulador do termo integral, ficando suspensos acréscimos para além deste limite, o que torna o valor do acumulador nunca excessivamente alto, e a reação do controlador conseqüentemente mais rápida. Foi arbitrado então para valor máximo do acumulador o valor que multiplicado pelo ganho e somado ao valor de resposta em estado estacionário fornece o máximo valor possível à saída, considerando-se portanto nulos os resultados das ações proporcional e derivativa. Assim tem-se:

$$\text{máx.val. de saída} = \text{"bias"} + k_c (\emptyset + I_{\text{máx}} + \emptyset) \quad \text{e...}$$

$$I_{\text{máx}} = \frac{\text{máx.val. de saída} - \text{"bias"}}{\text{ganho}}$$

De forma análoga fez-se necessária a determinação de um valor mínimo para o acumulador:

$$I_{\text{mín}} = \frac{\text{mín.val. de saída} - \text{"bias"}}{\text{ganho}}$$

Sendo possível e interessante a associação dos dois critérios apresentados, um terceiro critério foi desta forma criado.

Além dos três critérios expostos, um 4º e último critério foi introduzido de acordo com o desenvolvimento a seguir.

Forma não discretizada do algoritmo PID:

$$m(t) = m_s + k_c \left[ e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^{nt} e(t) dt + \tau_d \frac{d}{dt} e(t) \right]$$

Forma discretizada:

$$\text{resposta} = \text{"bias"} + \dots$$

$$+ \text{ganho} \cdot \left\{ \left\{ \text{sp-dat} \right\} + \left\{ \text{sum} + \frac{[2 \cdot \text{sp} - (\text{dat}_{\text{ant}} + \text{dat})] \cdot \Delta t}{2 \cdot \text{tal}_i} \right\} + \left\{ \frac{\text{tal}_d \cdot (\text{dat}_{\text{ant}} - \text{dat})}{\Delta t} \right\} \right\}$$

assim

$$\text{respn} = \text{"bias"} + \text{ganho} \times \dots$$

$$\dots \left\{ \left\{ \text{sp-datn} \right\} + \left\{ \text{sumn} + \frac{[2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-1} + \text{datn})] \cdot \Delta \text{tn}}{2 \cdot \text{tal\_1}} \right\} + \left\{ \frac{\text{tal-d} \cdot (\text{datn-1} - \text{datn})}{\Delta \text{tn}} \right\} \right\}$$

e

$$\begin{aligned} \text{respn-1} = & \text{"bias"} + \text{ganho} \times \left\{ \text{sp-datn-1} \right\} + \\ & \dots + \left\{ \text{sumn-1} + \frac{[2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-2} + \text{datn-1})] \cdot \Delta \text{tn-1}}{2 \cdot \text{tal\_1}} \right\} + \left\{ \frac{\text{tal-d} \cdot (\text{datn-2} - \text{datn-1})}{\Delta \text{tn-1}} \right\} \end{aligned}$$

Se garantidamente fosse

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \dots = \Delta \text{tn-1} = \Delta \text{tn}$$

o cálculo de  $\text{respn} - \text{respn-1}$  seria bastante simplificado

Uma vez que os intervalos de tempo não sejam garantidamente iguais, tem-se:

$$\text{respn} - \text{respn-1} = \text{ganho} \left\{ \text{datn-1} - \text{datn} \right\} +$$

$$+ \left\{ \text{sumn} - \text{sumn-1} + \frac{[2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-1} + \text{datn})] \cdot \Delta \text{tn} - [2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-2} + \text{datn-1})] \cdot \Delta \text{tn-1}}{2 \cdot \text{tal\_1}} \right\} +$$

$$\dots + \left\{ \text{tal\_d} \left[ \frac{\text{datn-1} - \text{datn}}{\Delta \text{tn}} - \frac{\text{datn-2} - \text{datn-1}}{\Delta \text{tn-1}} \right] \right\}$$

mas

$$\begin{aligned} \text{sumn} = & \left[ \frac{2 \cdot \text{sp} - (\text{dato} + \text{dat1})}{2} \cdot \Delta t_1 \right] + \left[ \frac{2 \cdot \text{sp} - (\text{dat1} + \text{dat2})}{2} \cdot \Delta t_2 \right] + \dots \\ & \dots + \left[ \frac{2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-1} + \text{datn})}{2} \cdot \Delta \text{tn} \right] \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} \text{sumn-1} = & \left[ \frac{2 \cdot \text{sp} - (\text{dato} + \text{dat1})}{2} \cdot \Delta t_1 \right] + \left[ \frac{2 \cdot \text{sp} - (\text{dat1} + \text{dat2})}{2} \cdot \Delta t_2 \right] + \dots \\ & \dots + \left[ \frac{2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-2} + \text{datn-1})}{2} \cdot \Delta \text{tn-1} \right] \end{aligned}$$

então

$$\text{sumn} - \text{sumn-1} = \frac{2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-1} + \text{datn})}{2} \cdot \Delta \text{tn} \quad \text{e assim}$$

$$\begin{aligned} \text{respn} - \text{respn-1} = \text{ganho} & \left[ \text{datn-1} - \text{datn} + \text{sp} \cdot \Delta \text{tn} - \frac{(\text{datn-1} + \text{datn}) \cdot \Delta \text{tn}}{2} + \right. \\ & + \frac{[2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-1} + \text{datn})] \cdot \Delta \text{tn} - [2 \cdot \text{sp} - (\text{datn-2} + \text{datn-1})] \cdot \Delta \text{tn-1}}{2 \cdot \text{tal-1}} + \\ & \left. + \text{tal-d} \left( \frac{\text{datn-1} - \text{datn}}{\Delta \text{tn}} - \frac{\text{datn-2} - \text{datn-1}}{\Delta \text{tn-1}} \right) \right] \end{aligned}$$

Esta última equação é conhecida por algoritmo **PID** na forma *velocidade*, devendo-se este nome por ser deduzida a partir da comparação entre pontos consecutivos da forma *posição*, apresentando sobre esta última a vantagem da eliminação do somatório e diminuição dos problemas de saturação integral (obs. é possível que testes em unidade piloto revelem o melhor desempenho de um dos critérios apresentados em relação aos três restantes).

A seguir tem-se a tela que fornece as opções do critério a escolher:

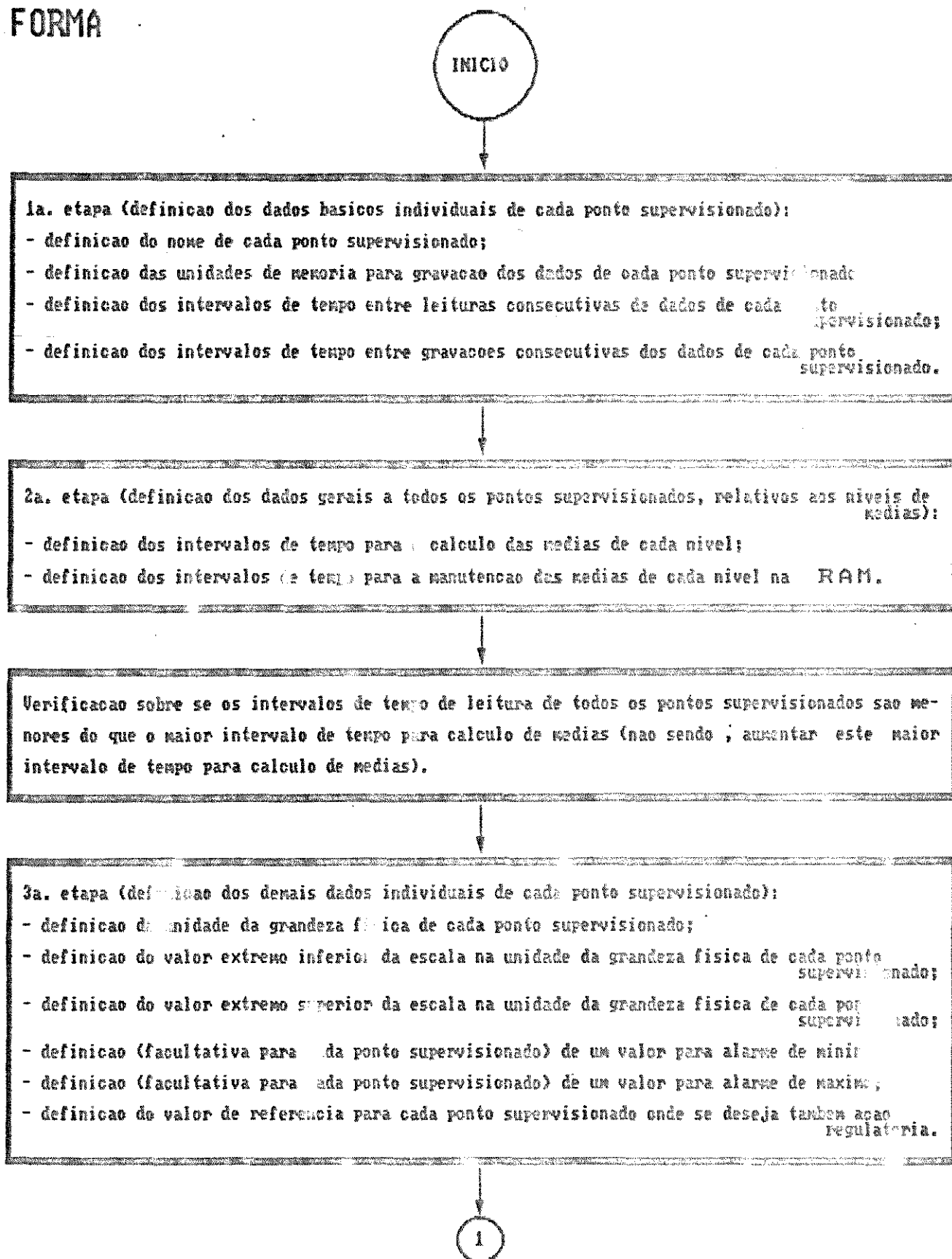
Selecione o critério para a estratégia de controle utilizada:

- "A" - Quando os valores do termo Proporcional e do termo Integral tem sinais contrários, o valor do termo Integral é desprezado para efeito de cálculo do sinal de saída;  
Quando o valor do termo proporcional é ZERO e o valor do termo Integral tem o mesmo sinal que o valor do termo proporcional da leitura anterior, este valor do termo integral também é desprezado para efeito de cálculo do sinal de saída.
- "B" - O somatório do termo Integral apresenta um limite superior e um limite inferior, sendo estes respectivamente o maior valor de saída (5 V = 20 mA = 1023) e o menor valor de saída (0 V = 0 mA = 0) subtraídos do valor de saída em estado estacionário e os resultados das subtrações divididos pelo ganho.
- "C" - É a associação dos dois critérios anteriores.
- "D" - Ao contrário dos critérios anteriores (que utilizam a forma *posição* do algoritmo de controle), esta opção utiliza a forma *velocidade*.

A opção desejada é:

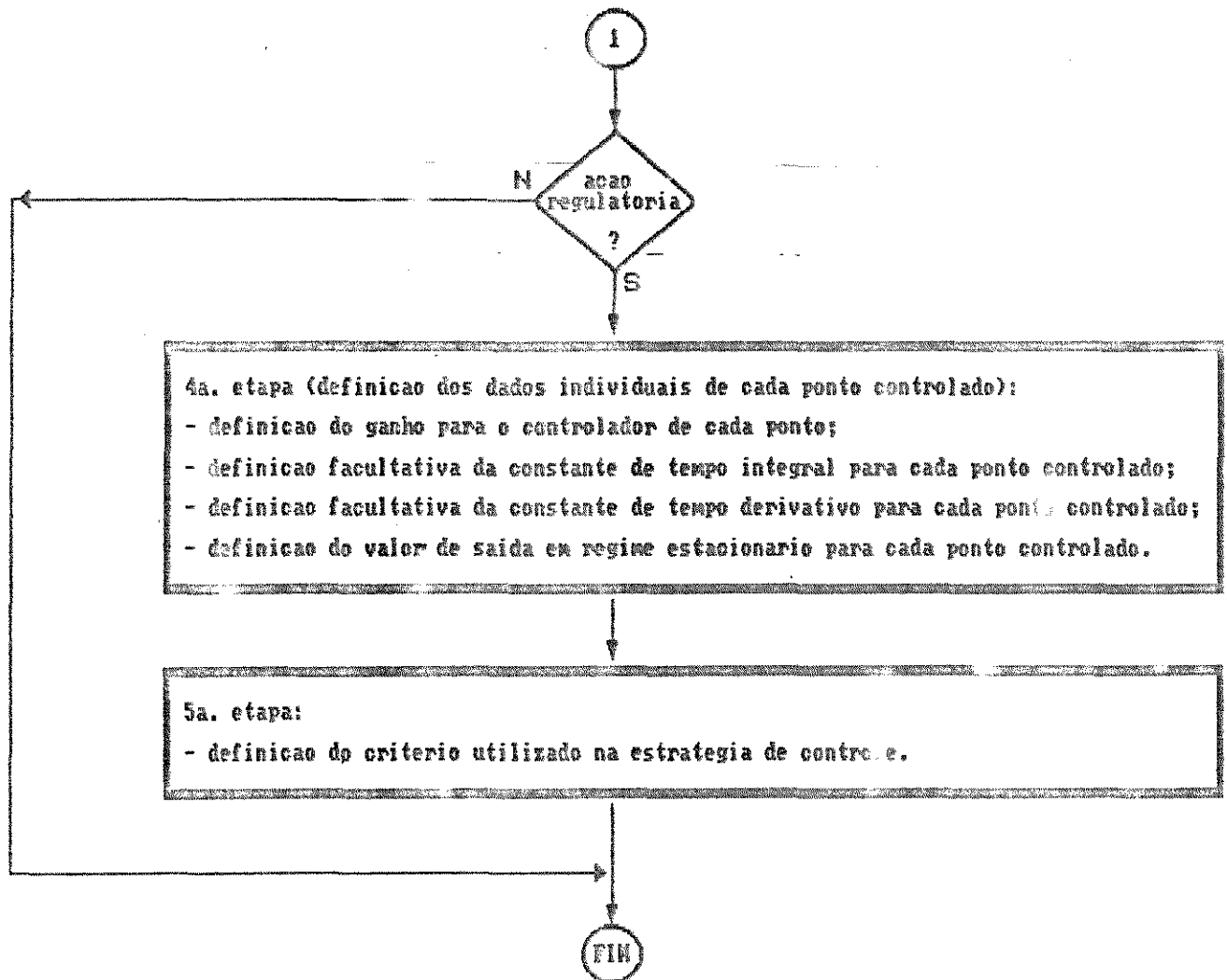
Uma vez que seja escolhido o critério, o arquivo de configuração do processo fica concluído e é então gravado na unidade de memória magnética e com nome, ambos definidos no início, ainda quando em execução o GERINT, o qual retorna à operação. Tem-se a seguir um diagrama de blocos de FORMA

## FORMA





... CONCLUSÃO - FORMA .



### 5.4.3. ALTERA.

Este programa tem a função de alterar arquivos de configuração de processo já existentes para serem utilizados pelos programas SIMPER ou SUPER. Todas as recomendações e demais procedimentos utilizados na execução do FORMA são bastante semelhantes à execução deste. A sequência de telas a seguir indica como é feita sua execução.

---

A seguir serão re-exibidas as características do arquivo desejado. A alteração em qualquer dado é efetuada mediante a digitação de suas coordenadas (X e Y).

As características são:

- nome (utilizando no máximo 3 caracteres);
- unid. de memória para grav. dos dados lidos (drive: A,B; winch.: C,D);
- intervalo de tempo de leitura (de 8 a 240 segundos);
- intervalo de tempo para grav. na unid. de memória (de 5 a 120 min.);
- valor extremo inferior na unidade da grandeza física da escala;
- valor extremo superior na unidade da grandeza física da escala;
- unidade da grandeza física da escala (max = 5 caracteres);
- alarme de mínimo (use 4 caracteres, completando com "." e zeros) ...  
...ou "####" caso o ponto monitorado não vá mais ter alarme de mínimo;
- alarme de máximo (use 4 caracteres, completando com "." e zeros) ...  
...ou ".###" caso o ponto monitorado não vá mais ter alarme de máximo;
- ganho do controlador (de 0.01 a 99.99);
- constante de tempo integral (de 0.01 a 99.99) ou "##" para controle do tipo P (proporcional) ou PD (proporcional-derivativo);
- constante de tempo derivativo (de 0.01 a 99.99) ou "##" para controle do tipo P (proporcional) ou PI (proporcional-integral);
- valor de referência ("set-point") na unidade da escala ou "##" para malha aberta;
- valor de saída em regime estacionário ("bias");

...continua... aperte qualquer tecla...

---

Continuando, tem-se:

...continuacao...

- intervalos de tempo (minimo= 5 min.) para o calc. de medias sucessivas  
(Obs.: para digitar os intervalos de tempo, utilize 2 digitos para mes, dia, hora e minuto, isto e', "MM:dd:hh:mm ");
  - intervalos de tempo para a manutencao destes valores na RAM;
  - criterio para a estrategia de controle utilizada (basta digitar X=17):
- "A" - Quando os valores do termo Proporcional e do termo Integral tem sinais contrarios, o valor do termo Integral e' desprezado para efeito de calculo do sinal de saida;  
Quando o valor do termo proporcional e' ZERO e o valor do termo Integral tem o mesmo sinal que o valor do termo proporcional da leitura anterior, este valor do termo integral tambem e' desprezado para efeito de calculo do sinal de saida.
- "B" - O somatorio do termo Integral apresenta um limite superior e um limite inferior, sendo estes respectivamente o maior valor de saida ( $5\text{ V} = 20\text{ mA} = 1023$ ) e o menor valor de saida ( $0\text{ V} = 0\text{ mA} = 0$ ) subtraidos do valor de saida em estado estacionario e os resultados das subtracoes divididos pelo ganho.
- "C" - E' a associacao dos dois criterios anteriores.
- "D" - Ao contrario dos criterios anteriores (que utilizam a forma posicao do algoritmo de controle), esta opcao utiliza a forma velocidade.

...aperte qualquer tecla...

Uma tela semelhante à exibida pelo GERNT, contendo todas as características de configuração do processo, é apresentada, porém esta apresenta a particularidade de fornecer coordenadas X e Y para que através delas o usuário possa indicar qual o campo a ser apagado, sendo transferido o cursor para o mesmo (para alterar o critério para a estratégia de controle utilizada não é necessário digitar nenhum valor para Y, bastando fazer X = 17).

		IMITempos				Extremos					Alarmes		Ganho					"set- bias"	
		Iptoleller		irecl		inf.	sup.	Unid.	lmin.	lmax.	(K)	ti	td	point	(%)				
		lml(s)	l(m)																
Y	X→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
↓																			
1		IPT1IAI	8I	5I	0.0	114.7		psig	13.27	14.72	8.50	27.43	2.50	4.0	27.3				
2		ITT0IAI	11I	5I	-5.0	128.0		'CI#####	-2.1	15.60		H	H	-2.5	7.6				
3		IPT2IAI	13I	5I	200.0	1300.0		kPa	#####	1269.1	3.20	12.50	1.20	258.3	158.4				
4		IFT9IAI	15I	5I	1500.0	13000.0		l/min	12387	12778	4.00	H	1.10	12583.2	172.3				
5		IFT4IAI	17I	5I	1.2	110.0		m3/h	6.18	18.38	10.00	33.85	3.70	7.3	69.2				
6		ITT1IAI	21I	5I	373.0	1523.0		KI	446.1	478.1	1.00	H	H	462.2	19.5				
7		ITT7IBI	30I	15I	59.0	1212.0		'FI#####	4.50	15.00		H	176.1	6.8					
8		ILT5IBI	40I	15I	0.0	1500.0		cmI#####	1472.1	7.00		H	1.05	400.0	180.0				

		Interv.de tempo(MM:dd:hh:mm)				Interv.de tempo(MM:dd:hh:mm)			
		calc.de media		manut.em RAM		calc.de media		manut.em RAM	
Y	X→	15	16	15	16	Y	X→	15	16
↓	Medial					↓	Medial		
9	1a	00:00:00:05	00:00:01:30	11	10	2a	00:00:00:15	00:00:03:00	
11	3a	00:00:01:00	00:00:06:00	11	12	4a	00:00:03:00	00:00:12:00	
13	5a	00:00:06:00	00:01:00:00	11	14	6a	00:00:12:00	00:05:00:00	
15				11	16				
17				CRITERIO (X = 17): C					

Digite as coordenadas (X,Y) do valor a corrigir: X = 12 Y = \_

Após se efetuar todas as alterações desejadas, assim como o FORMA, o ALTERA pode solicitar ao usuário que aumente o maior intervalo de tempo para cálculo de médias; recalcular os intervalos de tempo para gravação de dados em unidade de memória magnética; e aumentar os intervalos de tempo de leitura para que nenhum canal ultrapasse 3º dados na RAM entre duas gravações consecutivas em unidade de memória magnética. Se o ALTERA não consegue fazer todas as correções, todas as alterações efetuadas pelo usuário são canceladas e são reiniciadas as alterações. Se o programa consegue fazer todas as correções necessárias, pode eventualmente trocar alguns dos valores, apresentando os valores recalculados e a mensagem "VALORES FINAIS...aperte qualquer tecla". Assim como o FORMA, o ALTERA também rejeita automaticamente valores inseridos incompatíveis.

Uma vez que sejam exibidos os valores definitivos (VALORES FINAIS), seguem-se as telas:

Mudar o arq. "ABS2" para outro nome (S ou N): \_

Sendo negativa a resposta, é criado o ABS2.BAK, o qual contém os dados anteriores às alterações, e em seguida é gravado o novo ABS2.GRT.

Mudar o arq. "ABS2" para outro nome (S ou N): N

Se a unid. "B" esta pronta para a gravacao, aperte qq. tecla!\_

Na impossibilidade de gravação do novo ABS2.GRT, tem-se:

Operacao nao realizada.

Unid. "B:" cheia ou protegida.

Onde sera gravado o arq. gerenc.(drive:A, B; winch.: C, D)? \_

Se, no entanto, o usuário deseja mudar o nome do arquivo, tem-se:

Mudar o arq. "ABS2" para outro nome (S ou N): S

Qual o nome do novo Setor (max. 4 caract.) de aquisicao de dados? \_

Mudar o arq. "ABS2" para outro nome (S ou N): S

Qual o nome do novo Setor (max. 4 caract.) de aquisicao de dados? ABS1

Arquivo ja'existente. Gravar por cima? (S ou N) \_

Mudar o arq. "ABS2" para outro nome (S ou N): S

Qual o nome do novo Setor (max. 4 caract.) de aquisicao de dados? ABS1

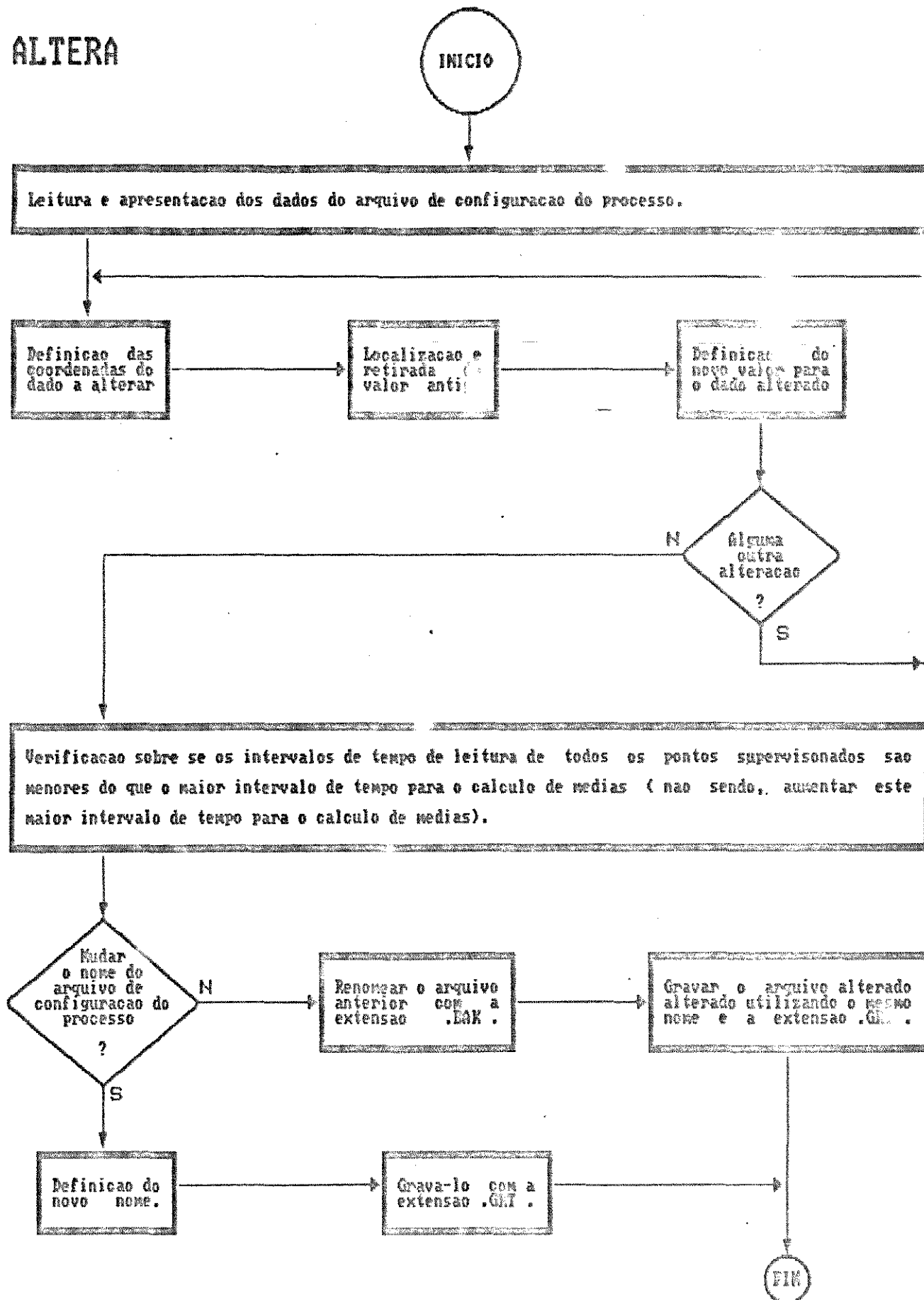
Arquivo ja'existente. Gravar por cima? (S ou N) S

Se a unid. "B" esta pronta para a gravacao, aperte qq. tecla!\_

Efetuada a gravação, ficam concluídas as alterações desejadas no arquivo de configuração do processo, retornando à operação o GERNT.

Tem-se a seguir um diagrama de blocos do ALTERA.

## ALTERA



#### 5.4.4. SIMPER/SUPER.

O programa SUPER é o responsável pela operação de SUPERvisão, somente sendo executável em um microcomputador da linha IBM-PC dotado de uma placa ADA com a mesma configuração da placa que foi utilizada em seu desenvolvimento. O programa SIMPER é bastante semelhante ao SUPER, porém funciona somente como um teste demonstrativo, sendo por isso executável em qualquer microcomputador da linha IBM-PC. Neste último, a leitura de dados analógicos é SIMulada através de uma função geradora de números aleatórios, bem como a exteriorização de sinais analógicos é substituída por uma outra que coloca na tela os valores de tensão de saída que seriam destinados aos atuadores do processo. Os dois programas, no que se refere às etapas de operação e suas respectivas telas, são ABSOLUTAMENTE IDÊNTICOS, sendo por isso a partir deste ponto tratados como se fossem apenas um único programa. O SIMPER/SUPER é o programa cuja maior parte do tempo de execução é efetuada em tempo real, constituindo esta parte a de maior tempo de execução durante toda a operação do sistema (pode durar meses ou anos!). A 1ª tela do SIMPER/SUPER é explicativa, conforme apresentada a seguir.



## Comandos:

"C" para selecionar o Canal monitorado;  
"A" para ligar ou desligar o sistema de Alarmes;  
"F" para Finalizar;  
"N" para selecionar o Nível de exibicao;  
"T" para exibir Tabelas;  
"M" para selecionar o Modo manual ou automatico;  
"S" para alterar o valor de Saida, quando em modo manual;  
"K" para alterar o valor do ganho;  
"J" para incluir ou excluir a lei integral do controlador;  
"I" para alterar o valor do " $\tau_i$ ";  
"E" para incluir ou excluir a lei derivativa do controlador;  
"D" para alterar o valor do " $\tau_d$ ";  
"R" para alterar o valor de Referencia;  
"B" para alterar o valor de saida em estado estacionario - "Bias";  
QUALQUER TECLA para desligar o alarme quando estiver soando;  
...aperte qualquer tecla...

A tela seguinte apresentada já é a tela que é exibida durante a maior parte do tempo de operação do Sistema de Controle em tempo real, contudo logo no início ela se apresenta sem valores de leitura dos pontos monitorados do processo, bem como também permanece vazia a lacuna referente à data e hora local de partida da operação em tempo real. Neste estágio o sistema está totalmente pronto para operar, aguardando apenas comando de partida por parte do usuário.

## Comandos:

"C" para selecionar o Canal monitorado;  
"A" para ligar ou desligar o sistema de Alarmes;  
"F" para Finalizar;  
"N" para selecionar o Nível de exibicao;  
"T" para exibir Tabelas;  
"M" para selecionar o Modo manual ou automatico;  
"S" para alterar o valor de Saida, quando em modo manual;  
"K" para alterar o valor do ganho;  
"J" para incluir ou excluir a lei integral do controlador;  
"I" para alterar o valor do "ti";  
"E" para incluir ou excluir a lei derivativa do controlador;  
"D" para alterar o valor do "td";  
"R" para alterar o valor de Referencia;  
"B" para alterar o valor de saida em estado estacionario - "Bias";  
QUALQUER TECLA para desligar o alarme quando estiver soando;  
...aperte qualquer tecla...

A tela seguinte apresentada já é a tela que é exibida durante a maior parte do tempo de operação do Sistema de Controle em tempo real, contudo logo no início ela se apresenta sem valores de leitura dos pontos monitorados do processo, bem como também permanece vazia a lacuna referente à data e hora local de partida da operação em tempo real. Neste estágio o sistema está totalmente pronto para operar, aguardando apenas comando de partida por parte do usuário.

---

Setor: ABS2      Início:      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Sai

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.re      "bias"

\* PT1 =      0      0.0%

TT0 =      0      0.0%

PT2 =      0      0.0%

FT9 =      0      0.0%

FT4 =      0      0.0%

TT1 =      0

TT7 =      0      0.0%

LT5 =      0      0.0%

...aperte qualquer tecla...

Acionada qualquer tecla, inicia-se a operação em tempo real.

---

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Sai

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref      "bias"

\* PT1 =      0.12 psig      0      0.0%

TT0 =      20.15 °C      0      0.0%

PT2 =      200.00 kPa      0      0.0%

FT9 =      1500.00 l/min      0      0.0%

FT4 =      1.20 m3/h      0      0.0%

TT1 =      373.00 K      0

TT7 =      59.00 °F      0      0.0%

LT5 =      23.52 cm      0      0.0%

A)0.000V; B)0.000V; C)0.000V; D)0.000V; E)0.000V;

G)0.000V; H)0.000

O sistema computacional permite que sejam efetuadas ações supervisória e regulatória, podendo esta última ser nos modos manual ou automático. A ação regulatória torna necessária a partida do sistema computacional antes da partida da unidade de processo, sendo esta partida do sistema efetuada com todos os canais em modo manual (malha aberta). Caso todos os canais sejam configurados para controle apenas supervisorio, a partida da unidade de processo pode ser efetuada primeiro.

Após o comando de partida para operação em tempo real, fica registrada a data e hora deste instante de partida da operação do sistema e passam a ser lidos os valores dos pontos monitorados, bem como enviados e exibidos na última linha da tela os valores de resposta aos atuadores do processo.

De acordo com a exibição da tela anterior, pode-se perceber que as condições iniciais ("default") de partida do sistema são:

- o sistema de alarmes desligado (no canto superior direito da tela pode aparecer alternadamente as letras "N" e "S" sendo digitada a tecla "A" após o sistema estar em operação, indicando star ou não ligado o sistema de alarmes);

- o 1º ponto monitorado sendo o ponto selecionado (o asterisco à esquerda do nome de qualquer um dos pontos monitorados indica ser o mesmo o ponto selecionado);

- o nível de médias mais baixo em que cada ponto monitorado pode operar sendo seu nível selecionado (no arquivo de configuração do processo exemplificado, todos os pontos apresentam intervalo de tempo de leitura menor do que 5 minutos, que é no mesmo exemplo o intervalo de tempo definido para se calcular os valores médios dessas leituras, e assim, no caso particular do exemplo citado, o 1º nível de médias para todos os canais é o nível zero);

- todas as malhas abertas (todos os canais em manual - na coluna referente a atuador são exibidos os valores percentuais de abertura das válvulas respectivas às malhas, sendo portanto também o valor percentual a que a tensão de saída indicada na última linha da tela para cada canal representa em relação à tensão total de 5 V);

- todas as válvulas de controle totalmente fechadas.

A seleção de canais é feita digitando-se a tecla "C" e depois qualquer tecla entre "A" e "H". Seja, por exemplo, "D".

```

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N
C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Said
K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"
Tecla
nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"
A → PT1 =      0.12 psig      0      0.0%
B → TT0 =      20.15 °C      0      0.0%
C → PT2 =      200.00 kPa      0      0.0%
D → FT9 =      1500.00 l/min      0      0.0%
E → FT4 =      1.20 m3/h      0      0.0%
F → TT1 =      373.00 K      0
G → TT7 =      59.00 °F      0      0.0%
H → LT5 =      23.52 cm      0      0.0%
A)0.000V; B)0.000V; C)0.000V; D)0.000V; E)0.000V;      G)0.000V; H)0.000V

```

```

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N
C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Said
K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"
selec.
nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"
PT1 =      0.12 psig      0      0.0%
TT0 =      20.15 °C      0      0.0%
PT2 =      200.00 kPa      0      0.0%
* FT9 =      1500.00 l/min      0      0.0%
FT4 =      1.20 m3/h      0      0.0%
TT1 =      373.00 K      0
TT7 =      59.00 °F      0      0.0%
LT5 =      23.52 cm      0      0.0%
A)0.000V; E)0.000V; C)0.000V; D)0.000V; E)0.000V;      G)0.000V; H)0.030V

```

Operações específicas em qualquer um dos canais prescindem inicialmente da seleção do mesmo. Estas operações específicas podem ser:

- formação de tabela de tempo X valores lidos para um dos pontos monitorados (ou também tabela de tempo X valores médios, devendo o usuário neste caso, após selecionar o canal, selecionar o nível de médias desejado);

- alteração do modo de operação de um dos canais, passando de manual para automático ou vice-versa;

- alteração do valor percentual de saída de um dos canais para seu atuador, desde que o mesmo esteja em manual;

- inserção ou retirada da lei integral ou da lei derivativa no cálculo do valor de saída para o atuador de um dos canais, desde que o mesmo esteja em automático;

- alteração do valor da constante de tempo integral ou da constante de tempo derivativo de um dos canais, desde que o mesmo esteja em automático e a respectiva lei entre no cálculo do valor de saída de seu atuador;

- alteração do valor do ganho ou do valor de referência ou então do valor de saída para o processo em regime estacionário de um dos canais, desde que o mesmo esteja em automático.

Uma vez que dada a partida na unidade, a operação em malhas abertas se dá até quando os valores lidos dos pontos monitorados atingem as vizinhanças de seus valores operacionais. Cada ponto que atinge seu valor de operação em estado estacionário deve ter sua malha fechada. Quando todas ou pelo menos quase todas as malhas estão fechadas, estando todos os pontos operando já próximos a seus valores de referência, pode ser ligado o sistema de alarmes. Uma vez que seja atingido o estado estacionário na unidade, o usual é que o Sistema de Controle opere em automático e sem muitas alterações em seus parâmetros.

Após às condições exibidas na tela anterior, os atuadores vão sendo manipulados selecionado-se o canal e em seguida, acionando-se a tecla "S", atribui-se o valor de saída desejado ao mesmo, conforme se observa na tela a seguir.

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saída

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"

PT1 =      0.12 psig      0      0.0%

TT0 =      20.15 °C      0      0.0%

PT2 =      200.00 kPa      0      0.0%

\* FT9 =      1500.00 l/min      0      0.0%

FT4 =      1.20 m<sup>3</sup>/h      0      0.0%

TT1 =      373.00 K      0

TT7 =      59.00 °F      0      0.0%

LT5 =      23.52 cm      0      0.0%

Digite o novo valor de saída para o "FT9" (e: %) ... e <ENTER>

Com a introdução sucessiva dos algoritmos, tem-se:

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saída

I-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"

PT1 =      0.12 psig      0      0.0%

TT0 =      20.15 °C      0      0.0%

PT2 =      200.00 kPa      0      0.0%

\* FT9 =      1500.00 l/min      0      0.0%

FT4 =      1.20 m<sup>3</sup>/h      0      0.0%

TT1 =      373.00 K      0

TT7 =      59.00 °F      0      0.0%

LT5 =      23.52 cm      0      0.0%

Digite o novo valor de saída para o "FT9": 3 %

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saida

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val. ef "bias"

PT1 =      0.12 psig      0      0.0%

TT0 =      20.15 °C      0      0.0%

PT2 =      200.00 kPa      0      0.0%

\* FT9 =      1500.00 l/min      0      0.0%

FT4 =      1.20 m3/h      0      0.0%

TT1 =      373.00 K      0      0.0%

TT7 =      59.00 °F      0      0.0%

LT5 =      23.52 cm      0      0.0%

Digite o novo valor de saída para o "FT9": 35 %

Acionando-se <ENTER>, volta a estrutura original (já alterada).

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saida

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val. ref "bias"

PT1 =      0.12 psig      0      0.0%

TT0 =      20.15 °C      0      0.0%

PT2 =      200.00 kPa      0      0.0%

\* FT9 =      1500.00 l/min      0      35.0%

FT4 =      1.20 m3/h      0      0.0%

TT1 =      373.00 K      0      0.0%

TT7 =      59.00 °F      0      0.0%

LT5 =      23.52 cm      0      0.0%

A)0.000V; B)0.000V; C)0.000V; D)1.750V; E)0.000V;

G)0.000V; H)0.000V



Além da tela que exibe sempre o último valor lido de cada canal, conforme visto até agora, o usuário pode obter do sistema tabelas dinâmicas por canal, selecionando antes o canal e o nível desejado. Uma vez que selecionado o canal desejado, o acionamento da tecla "T" fornece uma tabela conforme o exemplo a seguir (observe-se que sendo o nível selecionado exatamente o 1º nível em que o referido ponto pode operar, os valores apresentados são os valores lidos, e não médias destes).

Canal selecionado: PT:

Nível selecionado: 0

Tempo	Leitura
92 Apr 27 10:35:26	0.12
35	0.12
44	0.12
53	0.12
36:02	0.12
11	0.12
20	0.12
29	0.12
38	0.12
47	0.14
56	0.17
37:05	0.20
14	0.22
23	0.22
32	0.23
41	0.29
50	0.33
59	0.35
38:08	0.42
17	0.48

... aperte qualquer tecla ...

Continuando, tem-se.

Canal selecionado: PT1.

Nível selecionado: 0

Tempo	Leitura
26	0.49
35	0.50
44	0.49
53	0.50
39:02	0.50

... aperte qualquer tecla ...

Um ponto supervisionado que atinja o valor de operação, é selecionado e, acionando-se a tecla "M", passa para o modo de operação em automático, tendo assim sua malha fechada. O valor percentual de abertura da válvula atuadora não é mais exibido para o referido canal, contudo passam a ser exibidos seus parâmetros de controle regulatório (para este ponto monitorado eram inoperantes as teclas "K", "J", "I", "E", "D", "R" e "B", as quais passam a ter função, tornando-se inoperante a tecla "S"). O valor de saída para a válvula atuadora da referida malha continua sendo exibido na última linha da tela, expresso em volts, contudo este valor, que antes era linearmente dependente do valor percentual de saída, agora não apresenta qualquer relação de dependência linear, pois ao valor exibido na coluna de "bias", por exemplo, é algebricamente somado o resultado decorrente das leis de controle que estejam envolvidas no cálculo do valor final para o atuador dessa malha. No exemplo das duas telas a seguir tem-se um ponto que já atingiu seu valor de operação, cuja lei de controle é do tipo P.

Seleciona-se o canal ... e digita-se "M".

---

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saída

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"

PT1 =      .18 psig      0      38.2%

\* TT0 =      -3.17 °C      0      94.3%

PT2 =      200.00 kPa      0      67.7%

FT9 =      1653.27 l/min      0      82.7%

FT4 =      2.45 m<sup>3</sup>/h      0      83.4%

TT1 =      387.11 K      0

TT7 =      88.70 °F      0      1.2%

LT5 =      61.99 cm      0      7.9%

A)1.910V; B)4.715V; C)3.385V; D)4.135V; E)4.135V;      G)4.21      H)3.395

---



---

Setor: ABS2      Início: M. Apr 27 10:35:36 1992      Sistema de alarmes: N

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saída

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"

PT1 =      1.22 psig      0      3.2%

\* TT0 =      -3.17 °C      0      15.60      AU JM.      -2.50      92.4%

PT2 =      200.00 kPa      0      67.7%

FT9 =      1653.27 l/min      0      82.7%

FT4 =      2.45 m<sup>3</sup>/h      0      83.4%

TT1 =      387.11 K      0

TT7 =      88.70 °F      0      84.2%

LT5 =      61.99 cm      0      67.9%

A)1.910V; B)0.550V; C)3.385V; D)4.135V; E)4.135V;      G)1.10V; H)3.395V

Com a continuidade do procedimento anterior, após todos os pontos terem suas malhas fechadas, tem-se como exemplo a tela a seguir.

```

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N
C-Canal  A-Alarme  F-Finalizar  N-Nível  T-Tabela  M-Modo  S-Saída
K-ganho  J-lei integr.  I- $\tau_i$   E-lei deriv.  D- $\tau_d$   R-val.Ref.  B-"Bias"
selec.      nível  ganho   $\tau_i$    $\tau_d$   atuador: val.ref 'bias
PT1 = 3.23 psig      0  8.50  27.43  2.50  AUTOM.      4.00  27.2
TT0 = -2.38 °C      0  15.60      AUTOM.      -2.50  92.4
PT2 = 256.38 kPa      0  3.20  12.50  1.20  AUTOM.      258.32  58.3
FT9 = 2452.87 l/ in      0  4.00      1.10  AUTOM.      2583.15  72.2
* FT4 = 8.45 m3/h      0  10.00  33.85  3.70  AUTOM.      7.28  69.1
TT1 = 443.61 K      0
TT7 = 163.22 °F      0  4.50  15.00      AUTOM.      159.12  76.8
LT5 = 108.34 cm      0  7.00      1.05  AUTOM.      400.00  55.3

A)1.770V; B)4.690V; C)2.925V; D)3.820V; E)2.360V;      G)3.420V; H)3.135V
    
```

A partir deste estágio pode-se ligar o sistema de alarmes, bastando para isso acionar a tecla "A". Uma vez que ligado o sistema de alarmes, qualquer valor lido igual ou superior ao valor de alarme de máximo, ou igual ou inferior ao valor de alarme de mínimo de qualquer um dos pontos monitorados, conforme definido no arquivo de configuração do processo, faz o microcomputador gerar um sinal de áudio de 880 Hz., bem como exibe na tela, à direita da unidade da grandeza física do referido ponto, um sinal característico indicativo de alarme (de mínimo ou máximo). O sinal de áudio cessa tão logo qualquer tecla seja acionada, e o sinal exibido na tela permanece até que se faça a aquisição do próximo dado, o qual, se estiver dentro dos limites normais, promove a remoção desse sinal indicativo de alarme. A tela a seguir exemplifica como aparecem os sinais de alarme.

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: S

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saida

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"

PT1 = 3.22 psig <<<↓ 0 8.50 27.43 2.50 AUTOM. 4.00 27.2%

TT0 = -2.41 °C 0 15.60 AUTOM. -2.50 92.4%

PT2 = 261.45 kPa 0 3.20 12.50 1.20 AUTOM. 258.32 58.3%

FT9 = 2467.33 l/min 0 4.00 1.10 AUTOM. 2583.15 72.2%

\* FT4 = 8.43 m3/h <<<↑ 0 10.00 33.85 3.70 AUTOM. 7.28 69.1%

TT1 = 445.08 K <<<↓ 0

TT7 = 163.87 °F 0 4.50 15.00 AUTOM. 159.12 76.8%

LT5 = 112.03 cm 0 7.00 1.05 AUTOM. 400.00 55.3%

A)1.920V; B)4.675V; C)2.920V; D)3.830V; E)2.270V;

G)3.245V; H)3.155V;

Acionando-se "N" , seleciona-se o nível de médias desejado

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: S

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saida

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"

\* PT1 = 3.22 psig <<< 0 8.50 27.43 2.50 AUTOM. 4.00 27.2%

TT0 = -2.41 °C 0 15.60 AUTOM. -2.50 92.4%

PT2 = 261.45 kPa 0 3.20 12.50 1.20 AUTOM. 258.32 58.3%

FT9 = 2467.33 l/min 0 4.00 1.10 AUTOM. 2583.15 72.2%

FT4 = 8.43 m3/h <<<↑ 0 10.00 33.85 3.70 AUTOM. 7.28 69.1%

TT1 = 445.08 K <<<↓ 0

TT7 = 163.87 °F 0 4.50 15.00 AUTOM. 159.12 76.8%

LT5 = 112.03 cm 0 7.00 1.05 AUTOM. 400.00 55.3%

Tecla o novo valor do nível (0 a 9) do PT1:

para a exibição dos valores em tabela do ponto monitorado selecionado. As duas telas a seguir complementam a sequência.

---

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: S

C-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nível      T-Tabela      M-Modo      S-Saída

K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"

selec.      nível      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador:      val.ref      "bias"

\* PT1 =      3.22 psig      <<<↓      1      8.50      27.43      2.50      AUTOM.      4.00      27.2%

TT0 =      -2.41 °C      —      0      15.60      —      —      AUTOM.      -2.50      92.4%

PT2 =      261.45 kPa      —      0      3.20      12.50      1.20      AUTOM.      258.32      58.1%

FT9 =      2467.33 l/min      —      0      4.00      —      1.10      AUTOM.      2583.      72.2%

FT4 =      8.43 m3/h      <<<↑      0      10.00      33.85      3.70      AUTOM.      7.28      69.1%

TT1 =      445.08 K      <<<↓      0      —      —      —      —      —      —

TT7 =      163.87 °F      —      0      4.50      15.00      —      AUTOM.      159.12      76.8%

LT5 =      112.03 cm      —      0      7.00      —      1.05      AUTOM.      400.00      55.3%

A)1.920V; B)4.675V; C)2.920V; D)3.830V; E)2.270V;      G)3.245V; H)3.155V;

---

Canal selecionado: PT1.

Nível selecionado 1

Tempo	Leitura
92 Apr 27 10:40:35	0.38
45:35	0.54
50:35	0.87
55:35	1.24
11:00:35	1.78
05:35	2.17
10:35	2.59
15:35	2.88

A penúltima tela apresentada permite observar que o 2º ponto monitorado, TT0, pertence a uma malha de controle cuja única lei presente é a proporcional. Desta forma, uma vez que seja selecionado este canal, as teclas "I" e "D" permanecem inoperantes para o mesmo. As teclas "J" e "E" quando acionadas, alternadamente inserem e removem respectivamente as leis integral e derivativa no algoritmo de controle do canal selecionado, desta forma habilitando ou não a operar respectivamente as referidas teclas "I" e "D". Quando o acionamento das teclas "J" ou "E" insere a respectiva lei de controle ao cálculo do valor de saída a um canal ao qual não foi atribuído na etapa de configuração do processo o valor da constante de tempo da respectiva lei, é arbitrado para a constante de tempo em questão o valor "99.99" ou "0.01" para respectivamente as leis integral ou derivativa. Cabe ao usuário em seguida, através da tecla "I" ou da tecla "D", digitar o valor desejado. Selecionando-se, então, por exemplo o 2º canal e acionando-se a tecla "J", tem-se:

Fator: ABS2		Inicio: Mon Apr 27 10:35:26 1992		Sistema de alarmes: S		
C-Canal	A-Alarme	F-Finalizar	N-Nivel	l-Tabela	M-Modo	S-Saída
K-ganho	J-lei integr.	I- $\tau_i$	E-lei deriv.	D- $\tau_d$	R-val.Ref.	B-"Bias"
selec.		nivel	ganho	$\tau_i$	$\tau_d$	atuador: val.ref "bias"
PT1 =	3.22 psig	<<<↓ 1	8.50	27.43	2.50	AUTOM. 4.00 27.2%
* TT0 =	-2.41 °C	0	15.60	99.99		AUTOM. -2.50 92.4%
PT2 =	261.45 kPa	0	3.20	12.50	1.20	AUTOM. 258.32 58.0%
FT9 =	2467.33 l/min	0	4.00		1.10	AUTOM. 2583.15 72.2%
FT4 =	8.43 m3/h	<<<↑ 0	10.00	33.85	3.70	AUTOM. 7.28 69.1%
TT1 =	445.08 K	<<<↓ 0				
TT7 =	163.87 °F	0	4.50	15.00		AUTOM. 159.12 76.8%
LT5 =	112.03 cm	0	7.00		1.00	AUTOM. 400.00 55.3%

A)1.920V; B)4.675V; C)2.920V; D)3.830V; E)2.270V; G)3.245V; H)3.155V;

Segue-se a introdução do valor da constante de tempo integral.

```

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: S
C-Canal  A-Alarme  F-Finalizar  N-Nível  T-Tabela  M-Modo  S-Saida
K-ganho  J-lei integr.  I- $\tau_i$   E-lei deriv.  D- $\tau_d$   R-val.Ref.  B-"Bias"
selec.                nível ganho  $\tau_i$   $\tau_d$  atuador: val.ref "bias"

PT1 = 3.22 psig <<<↓ 1 8.50 27.43 2.50 AUTOM. 4.00 27.2%
* TT0 = -2.41 °C 0 15.60 99.99 AUTOM. -2.50 92.4%
PT2 = 261.45 kPa 0 3.20 12.50 1.20 AUTOM. 258.32 58.3%
FT9 = 2467.33 l/min 0 4.00 1.10 AUTOM. 2583.15 72.2%
FT4 = 8.43 m3/h <<<↑ 0 10.00 33.85 3.70 AUTOM. 7.28 69.1%
TT1 = 445.08 K <<<↓ 0
TT7 = 163.87 °F 0 4.50 15.00 AUTOM. 159.12 76.8%
LT5 = 112.03 cm 0 7.00 1.05 AUTOM. 400.00 55.3%

```

· Digite o novo valor do " $\tau_i$ " para o "TT0" ... e <ENTER>.

```

Setor: ABS2      Início: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: S
C-Canal  A-Alarme  F-Finalizar  N-Nível  T-Tabela  M-Modo  S-Saida
K-ganho  J-lei integr.  I- $\tau_i$   E-lei deriv.  D- $\tau_d$   R-val.Ref.  B-"Bias"
selec.                nível ganho  $\tau_i$   $\tau_d$  atuador: val.ref "bias"

PT1 = 3.22 psig <<<↓ 1 8.50 27.43 2.50 AUTOM. 4.00 27.2%
* TT0 = -2.41 °C 0 15.60 99.99 AUTOM. -2.50 92.4%
PT2 = 261.45 kPa 0 3.20 12.50 1.20 AUTOM. 258.32 58.3%
FT9 = 2467.33 l/min 0 4.00 1.10 AUTOM. 2583.15 72.2%
FT4 = 8.43 m3/h <<<↑ 0 10.00 33.85 3.70 AUTOM. 7.28 69.1%
TT1 = 445.08 K <<<↓ 0
TT7 = 163.87 °F 0 4.50 15.00 AUTOM. 159.12 76.8%
LT5 = 112.03 cm 0 7.00 1.05 AUTOM. 400.00 55.3%

```

Digite o novo valor do " $\tau_i$ " para o "TT0": 27.3



Os valores extremos aceitáveis pelo Sistema de Controle para as constantes de tempo são 0.01 e 99.99, e a tecla <ENTER> não precisa ser digitada caso o número a introduzir ocupe 5 posições contando com o ponto decimal, ou seja, na situação observada na tela anterior, a introdução de mais um algarismo leva imediatamente à situação da tela à seguir, onde se verifica ser a 5ª posição ocupada pelo algarismo 5.

```

Setor: ABS2      Inicio: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: S
J-Canal      A-Alarme      F-Finalizar      N-Nivel      T-Tabela      M-Modo      S-Saida
K-ganho      J-lei integr.      I- $\tau_i$       E-lei deriv.      D- $\tau_d$       R-val.Ref.      B-"Bias"
selec.                                nivel      ganho       $\tau_i$        $\tau_d$       atuador: val.ref "bias"
      PT1 =      3.22 psig      <<<↓      1      8.50      27.43      2.50      AUTOM.      4.00      27.2
      * TT0 =      -2.41 °C      0      5.60      27.35      AUTOM.      -2.50      92.4
      PT2 =      261.45 kPa      0      3.20      12.50      1.20      AUTOM.      258.32      58.3
      FT9 =      2467.33 l/min      0      4.00      1.10      AUTOM.      2583.15      72.2
      FT4 =      8.43 m3/h      <<<↑      0      10.00      33.85      3.70      AUTOM.      7.28      69.1
      TT1 =      445.08 K      <<<↓      0
      TT7 =      163.87 °F      0      4.50      15.00      AUTOM.      159.12      76.8
      LT5 =      112.03 cm      0      7.00      1.05      AUTOM.      400.00      55.3
A)1.920V; B)4.675V; C)2.720V; D)3.830V; E)2.270V;      G)3.245V; H)3.155V

```

A introdução ou a alteração da constante de tempo derivativo, bem com a alteração do valor de referência ou do valor de saída em estado estacionário para qualquer canal se dá de forma semelhante a o que foi exposto para a constante de tempo integral.

Para a finalização da operação em tempo real, é necessário que todos os canais que apresentam ação regulatória estejam operando em malha aberta (se pelo menos um canal estiver operando em modo automático, a tecla "E" fica inoperante); além

disso, uma vez que seja acionada a tecla "F", o sistema pede uma confirmação por parte do usuário, que se for negada o sistema continua operando normalmente. Estas medidas tem por objetivo a segurança, para que o Sistema de Controle, operando em tempo real, não seja, por algum engano, desativado, o que poderia levar a consequências até mesmo catastróficas (obs.: o acionamento das teclas (Ins), (Del), (Home), (End), (PgUp), (PgDn), (↑), (↓), (→), (←), (PrtSc), (Pause), (Break), (S) Req e (F1) a (F12) causa interferências que geram atraso no tempo real). A seguir observa-se a tela decorrente do acionamento da tecla "F".

---

```

Setor: ABS2      Inicio: Mon Apr 27 10:35:26 1992      Sistema de alarmes: N -
L-Dan-1       A-Alarme      F-Finalizar      N-Nivel      T-Tabela      M-Modo      S-Saida
K-ganho       J-lei integr.  I- $\tau$       E-lei deriv.  D- $\tau_d$       R-val Ref    B-"Bias"
selec.                               nivel  ganho   $\tau$        $\tau_d$   atuador val.ref "bias"

PT1 =   -0.01 psig           0                               100.00%
TT0 =   -2.41 °C             0                               93.50%
PT2 =   200.00 kPa.          0                               100.00%
FT9 =  1500.00 l/min          0                               0.00%
* FT4 =    1.20 m3/h          0                               0.00%
TT1 =   373.00 K              0
TT7 =    59.00 °F             0                               0.00%
LT5 =   387.36 cm             0                               0.00%

Finalizar: Tem certeza?  (S ou N)

```

---

Uma resposta afirmativa leva o SIMPER/SUPER a sair de operação, retornando à operação o GERNT, que finaliza a execução do sistema, antes, porém, é feita a gravação do arquivo de configuração do processo onde os parâmetros são gravados com os valores alterados durante a operação em tempo real. Este arquivo leva o mesmo nome do arquivo de configuração do processo, contudo com a extensão ".ALT". Os arquivos com extensão ".GRT", "BAK" e ".ALT" se apresentam conforme o exemplo a seguir.

```

B:> type abs2.grt
8 9 C
PT1 C: 9 5 0 0.000 14.700 psig 3.27 4 72 F S S 1114
1114 8.50 27.43 2.50
TT0 C: 11 5 0 -5.000 28.000 C #### -2.1 F N N 310
311 15.60 99.99 0.01
PT2 C: 13 5 0 200.000 300.000 kPa #### 269. F S S 2388
2388 3.20 12.50 1.20
FT9 C: 15 5 0 1500.000 3000.000 l/min 2387 2778 F N S 2957
2957 4.00 99.99 1.10
FT4 C: 17 5 0 1.200 10.000 m3/h 6.18 8.38 F S S 2830
2830 10.00 33.85 3.70
TT1 C: 21 5 0 373.000 523.000 K 446. 478. A N N 2434
2434 1.00 99.99 0.01
TT7 A: 30 15 1 59.000 212.000 F #### #### F S N 3144
3144 4.50 15.00 0.01
LT5 A: 40 15 1 0.000 500.000 cm #### 472. F N S 3276
3276 7.00 99.99 1.05
300 11400 38 900 34200 38
3600 21600 6 10800 43200 4
21600 86400 4 43200 43200 10
86400 1296000 15 259200 2590000 10
1296000 7776000 6

```

B:>

E os arquivos com extensão ".DP" se apresentam conforme o exemplo a seguir.

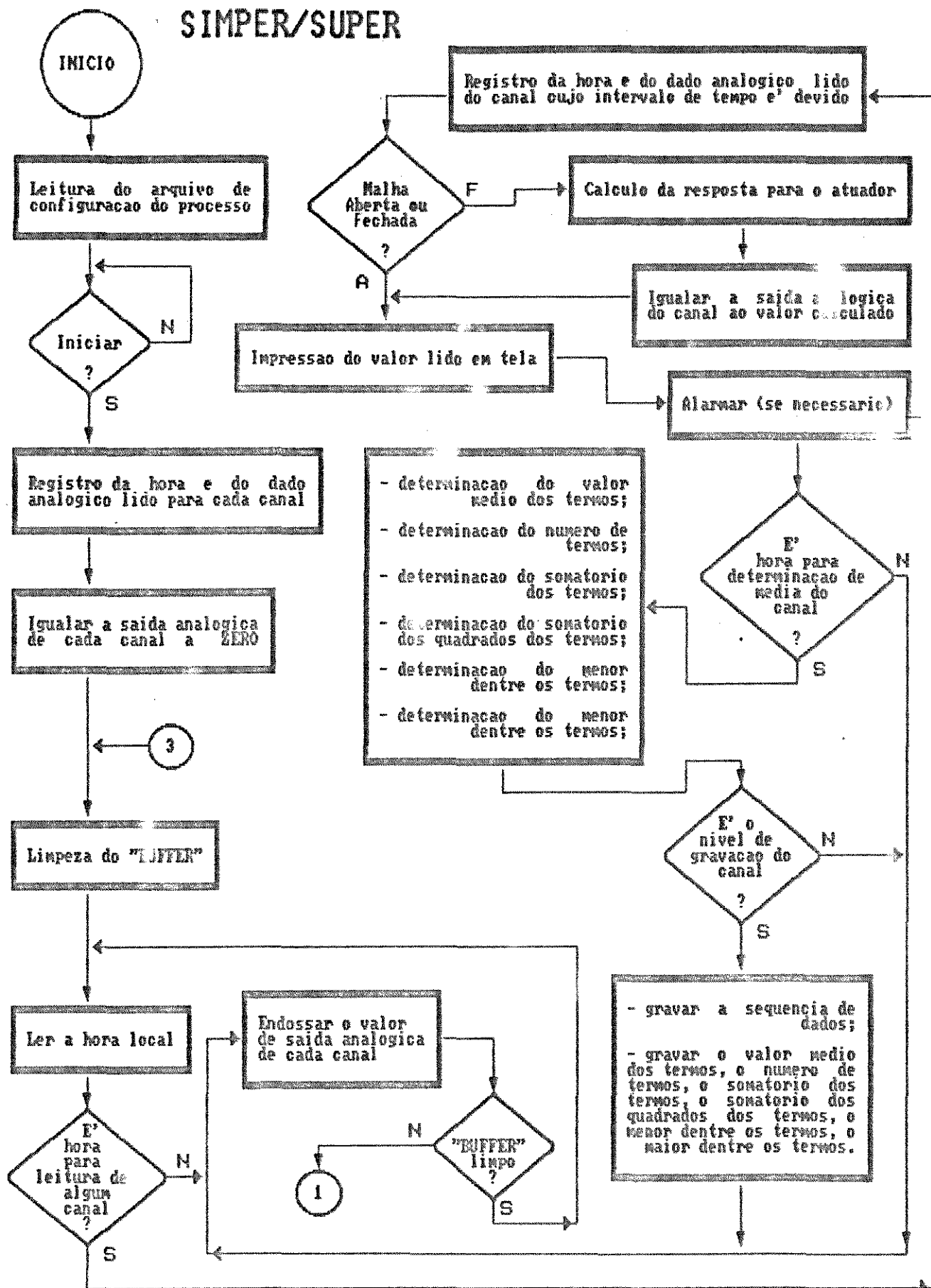
```

C:> type abs2pt1.dp
33 33 33 33 33 33 33 33 33 39 4
7 55 61 61 64 80 92 97 117 133 136
139 136 139 139 144 142 147 156 164 181 200
211 222 236 5000
33 236
3635 514703
35 100 Mon Apr 27 10:40:32 1992
239 237 236 237 235 233 234 233 236 234 23
8 235 236 234 232 236 235 233 233 233 234 2
33 234 233 233 234 234 234 233 232 234 235
234 235 5000
232 239
7971 1868821
34 234 Mon Apr 27 10:45:38 1992

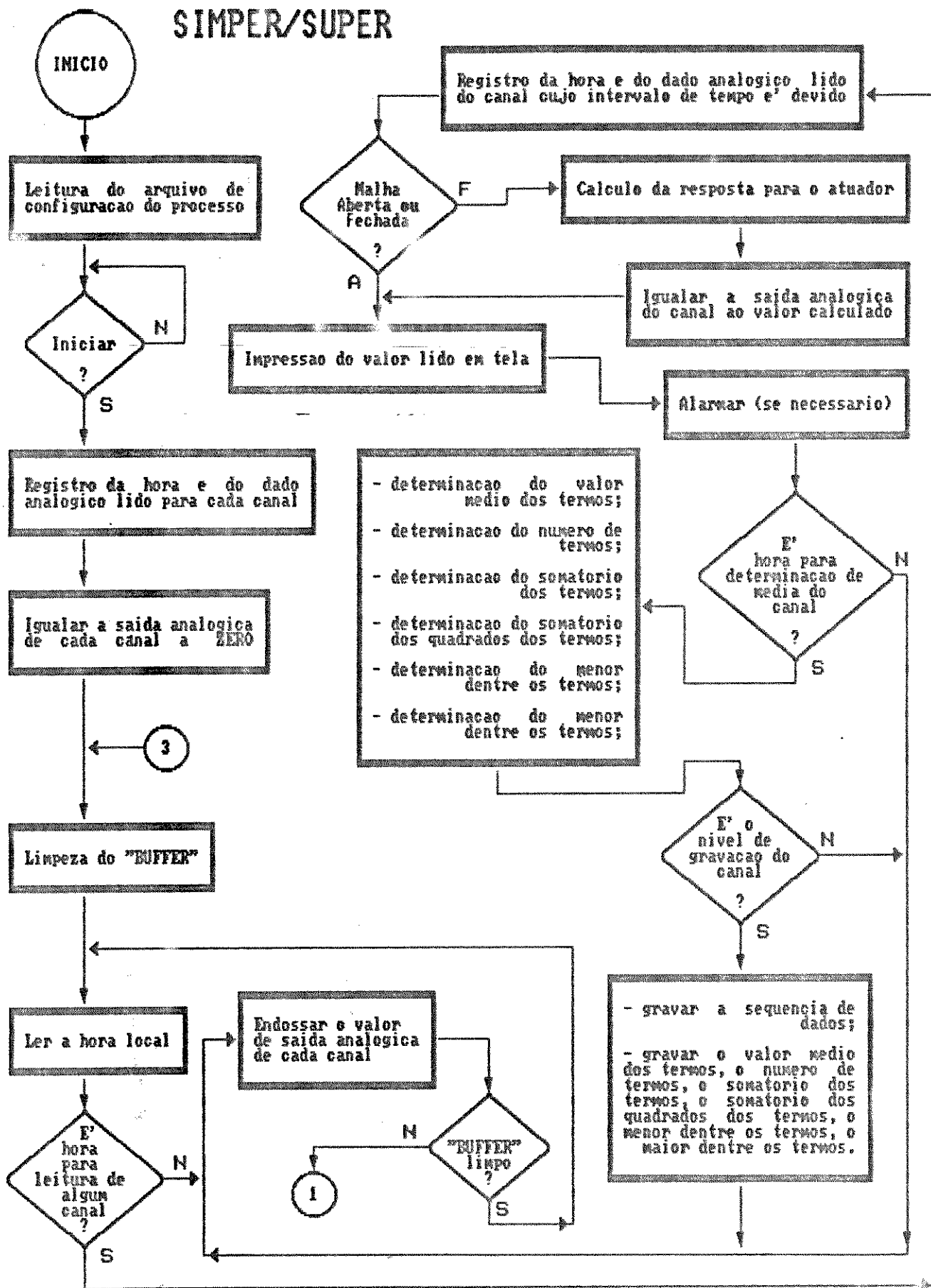
```

C:>

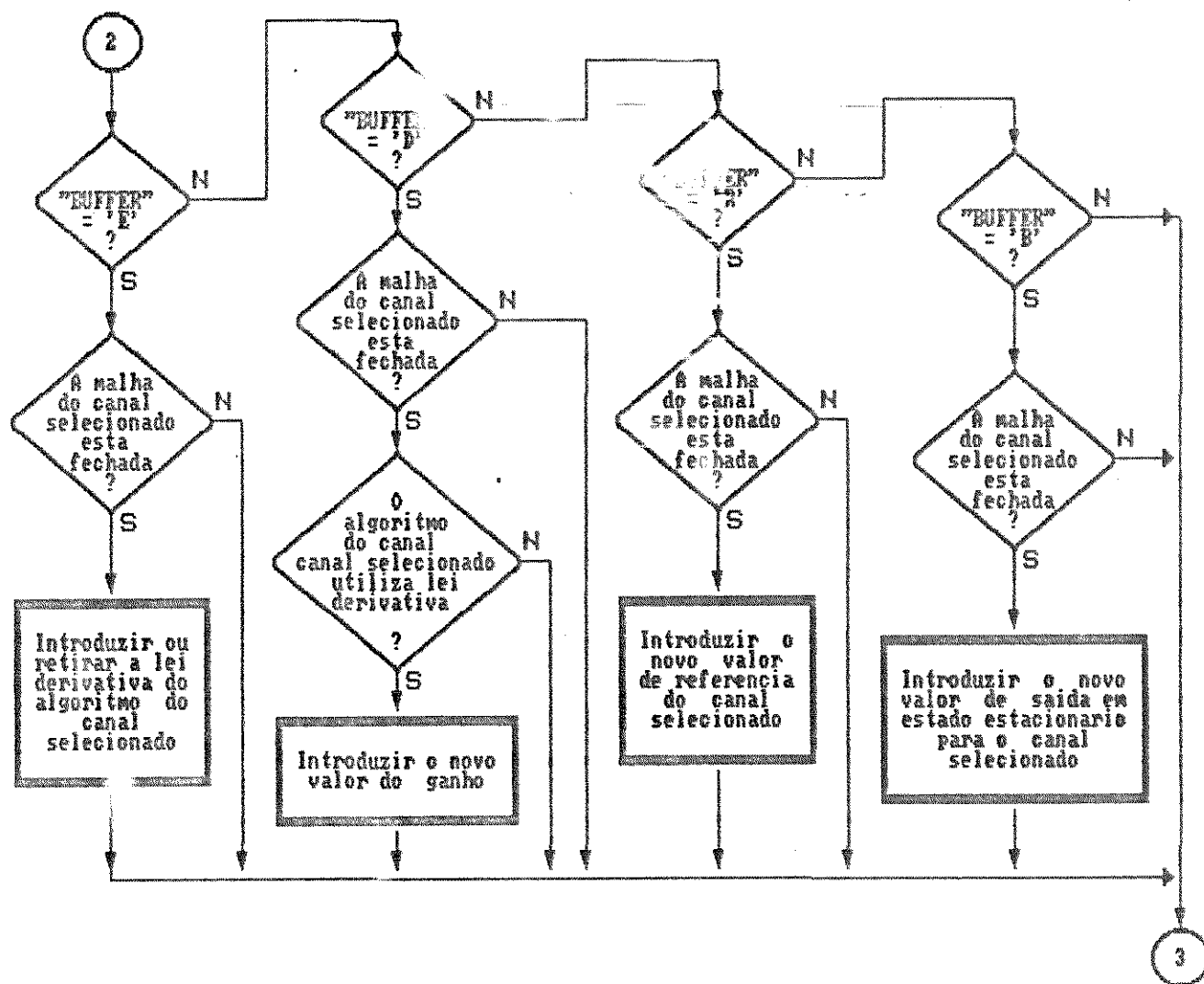
## SIMPER/SUPER



## SIMPER/SUPER



... CONCLUSAO - SIMPER/SUPER .



## 6. SUGESTÕES E CONCLUSÕES.

## 6 Sugestões e Conclusões

Alguns aspectos apresentados pelo sistema necessitam de complementação, como, por exemplo, a exibição dinâmica dos valores lidos dos pontos supervisionados. Além da exibição de tabelas é importante a exibição de gráficos. Numa 1ª etapa deve-se modificar o formato dos arquivos de dados ("arq.DP") para arquivos de codificação ASCII, compatibilizando-os com os pacotes comerciais de programas que efetuam tratamentos estatísticos, geração de gráficos, etc., como, por exemplo, a consagrada planilha eletrônica *Lotus 1-2-3* da *Lotus Development Corp.* Num estágio seguinte deve-se desenvolver um programa que, executado "off-line", lê os dados de um arquivo de dados do processo e monta o gráfico, numa 3ª e última etapa se introduz uma estrutura semelhante à anterior, mas que efetue a montagem "on-line" de gráficos, o que requer alguns cuidados a mais, pois o envio de dados para a montagem do gráfico na tela deve ser feito por partes, sendo cada parte nunca superior ao tamanho do "buffer" de tela para não comprometer a execução em tempo real.

A placa ADA-01 rece um recurso que não foi utilizado, mas que no entanto é de aplicação fácil e interessante. Trata-se da disponibilidade de os canais operarem em faixas diferenciadas (entre si) dos valores de tensão de entrada.

Um outro recurso que aumenta as possibilidades de operação para o usuário é a possibilidade de chaveamento de um conjunto de alarmes externos através das saídas digitais, sem invalidar o sinal de áudio gerado pelo computador, isto é, o comando de alarme continua colocando o sinal característico na tela e continua acionando o sinal de áudio, mas passa também a enviar um sinal de nível 1 à saída digital do referido canal. Tendo-se 5.1 V à saída digital deste canal, um relé a este conectado se fecha acionando um alarme externo. O acionamento de qualquer tecla faz a saída digital do canal passar para o nível 0 (0.6 V), abrindo-se o contato do relé, cessando assim o alarme externo.

Todas as considerações supra-citadas têm aspecto de complementação ao sistema criado, contudo este atingiu o objetivo básico de supervisão a que se propôs.



## 7. REFERÊNCIAS.

## 7. Referências.

1. BASSA, J. M., "Curso Básico de Instrumentação - Medidas de vazão" - IBP - 1989.
2. BEGA, E. A., "Curso Básico de Instrumentação - Pressão" - IBP 1989.
3. BRITO, A. A. S., "Manual do Programador PC - Hardware & Software" - Livros Érica Id. Ltda. - 1990.
4. DARLIN, E. B., "Designing and Tuning Digital Controllers" - Instruments & Control Systems - junho - 1968.
5. DARTT, S. R., "Distributed Digital Control - Its Pros and Cons" - Chemical Engineering - setembro - 1982.
6. ENGLEMAN, B. & ABRAHAM, M., "Personal Computer Signal Processing" - BYTE - abril - 1984.
7. ISAAK, J., "Designing Systems for Real-Time Applications" - BYTE - abril - 1984.
8. KELLY-BOOTLE, S., "Dominando o Turbo C" - Editora Ciência Moderna Ltda. - 1989.
9. MOSLER, H. A.; KOPPEL, L. J. & COUGHANOWR, D. R., "Sampled-Data Proportional Control of a Class of Stable Processes" - I & EC Process Design and Development - julho - 1966.
10. PEREIRA, J. A. F. R., "Anotações de aula - Controle de Processos por Computador - IQ-422" - Unicamp - 1991.
11. PEREIRA, J. A. F. R., "Anotações de aula - Introdução à Dinâmica e Estabilidade de Processos - IQ-132" - Unicamp - 1990.
12. RAVEN, F. H., "Automatic Control Engineering" - McGraw-Hill Kogakusha Ltd. - 1968.

- 
13. SHILDT, H., "Turbo C - Guia do Usuário" - Editora McGraw-Hill Ltda. - 1989.
14. SEABORG, D. E., EDGAR, T. F. & MELLICHAMP, D. A., "Process Dynamics and Control" - John Wiley & Sons - 1989.
15. WYSS, C. R., "Planning a Computerized Measurement System" - BYTE - abril - 1984.